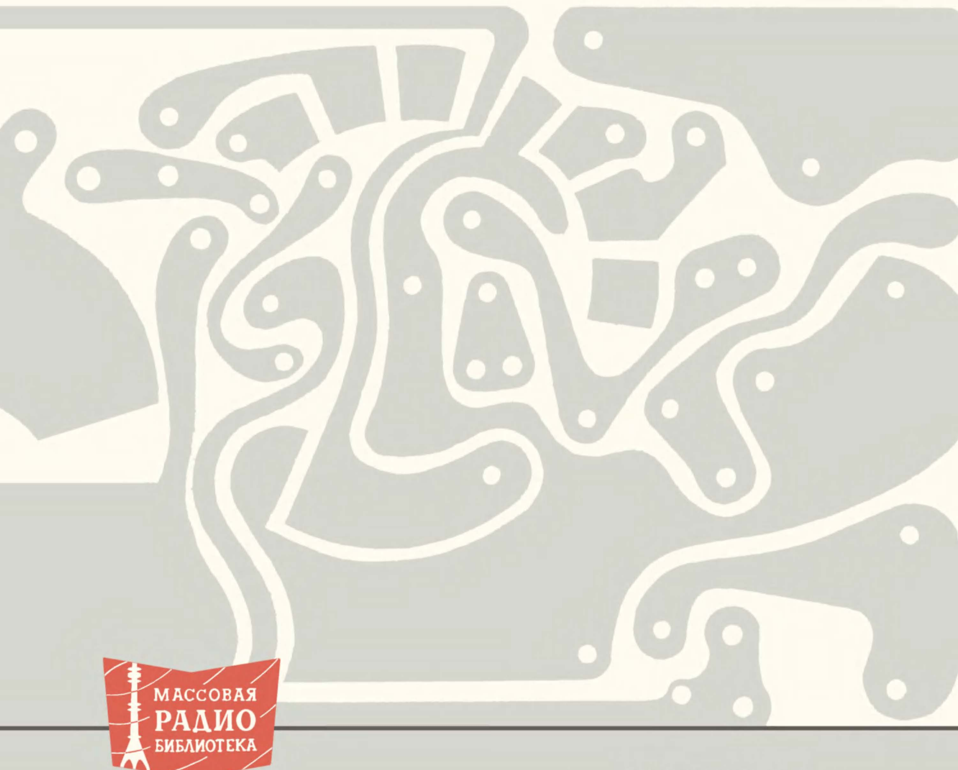
Г. А. БОРТНОВСКИЙ

Печатные схемы в радиолюбительских конструкциях



·ЭНЕРГИЯ·

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

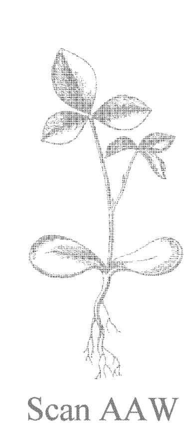
Выпуск 795

Г. А. БОРТНОВСКИЙ

ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Издание второе, переработанное





«Энергия»

МОСКВА 1972

6Ф0.3
УДК 621.38.049.75
Б82

Г. А. Бортновский

Б82 Печатные схемы в радиолюбительских конструкциях, изд. 2-е, перераб. и доп., М., «Энергия», 1972.
64 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека, вып. 795)

Рассматривается современная технология получения печатных схем, приводятся указания по конструированию, технологии изготовления печатных схем и примеры радиолюбительских конструкций с печатным монтажом.

Брошюра предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
295—71

6Ф0.3

БОРТНОВСКИЙ ГЕНРИХ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Печатные схемы в радиолюбительских конструкциях

Редактор *С. М. Ковыкин*
Редактор издательства *Т. В. Жукова*
Технический редактор *В. В. Зеркаленкова*
Обложка художника *Т. Н. Царевой*
Корректор *Е. В. Житомирская*

Сдано в набор 15/VI 1971 г. Подписано к печати 20/XII 1971 г. Т-16889
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 3,36
Уч.-изд. л. 4.41. Тираж 50 000 экз. Цена 18 коп. Зак. № 962

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.
Отпечатано с матриц на Чеховском полиграфкомбинате
Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Чехов, Моск. обл. Заказ 395

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4

Глава первая

Промышленная техника печатных схем 8
Промышленные методы изготовления печатных схем 8
Способы получения печатных схем 11

Глава вторая

Конструирование радиоаппаратуры с печатными схемами 17
Особенности конструирования аппаратуры с печатными схемами 17
Навесные радиодетали, используемые в конструкциях с печатным монтажом 19
Печатные проводники 24
Соединение печатных плат и выводные устройства 28
Радиодетали, выполняемые методом печатных схем 31
Макетирование 33

Глава третья

Радиолюбительская технология изготовления печатных плат 37
Метод переноса 39
Химический способ 41
Выполнение рисунка печатного монтажа липкой лентой . . 43
Нанесение рисунка печатного монтажа через трафарет . . . 45
Способ изготовления печатного монтажа путем механического удаления фольги с пробельных участков 47
Обработка печатных плат 48

Глава четвертая

Любительские конструкции с печатными схемами 53
Малогабаритный приемник с фиксированными настройками 54
Двухдиапазонный миниатюрный приемник 58
Зарядное устройство 61
Выпрямительный мост 64

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость создания радиоаппаратуры с печатным монтажом вызвана тем, что попытки механизировать изготовление радиоаппаратуры с объемным монтажом не увенчались успехом. Разработанные для этой цели машины не получили распространения из-за своей сложности и обладали многими недостатками. Поэтому такая радиоаппаратура, как правило, собиралась вручную на конвейере. Если учесть, что при изготовлении современной радиоаппаратуры монтажные работы наиболее трудоемки, то затраты на монтажно-сборочные работы составляют до 75% прямых производственных расходов. Применение метода печатного монтажа полностью решает вопрос о механизации сборки и монтажа радиоаппаратуры.

Производство радиоаппаратуры с применением печатных схем сводится к изготовлению платы с печатным монтажом, автоматической укладке на нее радиодеталей и одновременной пропайке всех соединений.

Автомат для укладки деталей достаточно прост и состоит из рабочей головки, производящей выгибание и обрезку проволочных выводов и установку деталей в отверстия печатной платы, и магазина с запасом резисторов, конденсаторов и других деталей. После установки одной детали печатная плата автоматически перемещается к следующей рабочей головке, где устанавливается следующая деталь, и т. д., пока не будут установлены все мелкие детали (обычно несколько десятков). Число рабочих головок соответствует числу деталей, устанавливаемых на плате. Затем на плате монтируются автоматически или вручную крупные детали.

После того как на печатной плате смонтированы все детали, они распаиваются на проводники печатной схемы «методом погружения». Сущность метода состоит в том, что плата с установленными деталями погружается одной стороной (той, с которой расположены печатные проводники и выводы радиодеталей) в расплавленный припой, где за 5—10 *сек* происходит припайка всех выводов к печатным проводникам.

Применение печатных схем значительно удешевляет стоимость и сокращает время изготовления радиоаппаратуры. Так, например, при изготовлении печатной схемы одновременно с печатным монтажом можно изготовить такие детали, как переключатели, разъемы, конденсаторы, катушки и т. д. Кроме того, возможно изготовление резисторов осаждением слоя углерода или металла, обладающего большим удельным сопротивлением, на определенные участки токопроводящей линии на печатной схеме. Но из-за технологических трудностей, связанных с получением достаточно точного номинала сопротивлений, этот метод не получил широкого распространения.

В настоящее время широкое распространение получают много-

слойные печатные платы. Достижения в области технологии по изготовлению тонких пленок позволили перейти к изготовлению наиболее перспективных гибридно-интегральных и интегральных схем, где уровень интеграции достигает нескольких тысяч радиоэлементов на 1 *см*².

Можно ли отрицательно относиться к тому, что радиолюбители занимаются печатными схемами, считая, что в этом нет смысла, поскольку радиолюбители изготовляют обычно радиоаппаратуру в одном экземпляре, а печатные схемы — это технология массового производства. Действительно, радиолюбитель изготовляет единичный экземпляр, но он может его изготовить как макет аппарата, стоящего на уровне современной техники как в схемном, так и в технологическом отношении, что невозможно сделать без применения печатной схемы. Особенно это относится к приемникам и другим устройствам на полупроводниковых приборах, где без печатного монтажа трудно выполнить малогабаритную и надежно работающую конструкцию.

Надо заметить, что проектирование устройств с печатными схемами — очень интересное занятие; здесь зачастую приходится решать сложные задачи, у которых может быть много решений.

Если радиолюбители заинтересуются печатным монтажом, то они будут создавать современные образцы радиоаппаратуры, которые доставят радиолюбителю большое творческое удовлетворение, повысят его квалификацию, а при хорошей схемной отработке эти конструкции могут быть использованы в промышленности.

Следует также отметить, что аппаратура с печатной схемой удобна в эксплуатации и надежна — ее легко ремонтировать и очищать от пыли. Печатный монтаж красив и имеет законченный вид, так как вместо хаотически расположенных проводов при объемном монтаже получается плата с аккуратно расположенными деталями.

Для того чтобы не было неясностей при чтении брошюры (так как в связи с особенностями проектирования и производства печатных схем возникла специфическая терминология) ниже приводятся основные широко распространенные термины и пояснения к ним.

Печатный монтаж — система печатных проводников, обеспечивающая электрическое соединение элементов схемы, экранирование, заземление.

Печатный проводник — участок металлизированного слоя на изоляционном основании, эквивалентный обычному монтажному проводу.

Печатная радиодеталь — резистор, разъем, конденсатор, катушка и т. п., нанесенная на изоляционное основание в виде металлического или иного покрытия.

Печатная схема — совокупность печатного монтажа и печатных радиодеталей, расположенных на изоляционном основании.

Печатная плата — изоляционное основание с печатным монтажом или печатной схемой.

Печатный блок, узел — совокупность печатного монтажа или печатной схемы с объемными электро- и радиодеталями, установленными и закрепленными на изоляционном основании.

Заготовка — основание для печатной платы из металлизированного или неметаллизированного электроизоляционного материала, подготовленного к нанесеиию печатного монтажа или печатной схемы.

Фольгированное (плакированное) основание — электроизоляционный материал с металлическим покрытием (в ра-

диолюбительской практике чаще всего — фольгированный гетинакс).

Координатная сетка — прямоугольная сетка, состоящая из параллельных равностоящих линий, условно или фактически нанесенная на чертеж печатной платы для определения расположения отверстий и взаимного расположения печатных проводников.

Шаг координатной сетки — расстояние между двумя ближайшими параллельными линиями координатной сетки.

Узел сетки — точка пересечения двух линий координатной сетки.

База сетки — узел сетки, принимаемый за точку начала отсчета.

Монтажное отверстие — металлизированное или неметаллизированное отверстие, предназначенное для монтажа выводов объемных радиоэлементов или объемных проводников.

Металлизированное отверстие — отверстие в печатной плате, на стенки которого нанесен слой металла (или поставлен монтажный пистон), служащее в качестве монтажного отверстия или переходного соединения.

Базовое отверстие (фиксирующее отверстие) — отверстие, предназначенное для точной установки платы в процессе сборки.

Контактная (монтажная) площадка — участок печатного проводника, окружающий или примыкающий к монтажному или переходному отверстию и обеспечивающий возможность электрического соединения выводов объемных радиодеталей.

Переходное отверстие — металлизированное отверстие, обеспечивающее переход печатного проводника с одной стороны платы на другую.

Навесные детали (радиоэлементы) — объемные радиодетали, закрепленные на печатной плате способом пайки.

Перемычка (фальш-деталь) — отрезок монтажного провода, соединяющий два печатных проводника между собой в тех случаях, когда они пересекаются с третьим печатным проводником.

Технологический проводник — вспомогательный печатный проводник, обеспечивающий электрическое соединение отдельных печатных проводников в процессе изготовления; впоследствии удаляется или разрывается.

Групповая пайка (пайка погружением) — способ одновременного припаивания выводов всех навесных деталей на печатной плате к монтажным площадкам печатных проводников.

Пробельный участок — место отсутствия металлизации на готовой печатной плате.

Подтравливание — уменьшение поперечного сечения печатного проводника к основанию в процессе его изготовления.

Смещение — отклонение печатных проводников от заданного расположения относительно друг друга при двустороннем печатном монтаже.

Свободное место — участок печатной платы, где при размещении проводников могут быть выдержаны рекомендуемые значения ширины проводников, расстояния между проводниками и монтажными площадками.

Узкие места — участок печатной платы, где при размещении проводников ширина проводников, расстояние между проводниками и монтажными площадками выполняются меньшими, чем рекомендуемые, вплоть до минимально допустимых.

Подрезка монтажной площадки — уменьшение монтажной площадки с целью увеличения расстояния до ближайшего печатного проводника.

Разрешающая способность способа печати — определяется допустимым числом линий на миллиметр, причем за «линию» условно принимается минимально допустимая ширина печатного проводника или равная ей минимальная ширина зазора между проводниками.

Точность способа печати — отклонение расположения и размеров печатных проводников от указанных в чертеже.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕХНИКА ПЕЧАТНЫХ СХЕМ

Промышленные методы изготовления печатных схем

Прежде чем приступить к самостоятельному изготовлению радиоаппаратуры с печатными схемами, радиолюбителю полезно познакомиться с существующими промышленными методами их получения. Ниже дается краткое описание некоторых основных методов.

Печатные схемы различаются как по характеру изготовления самой печатной платы, так и по конструкции. Основным конструктивным видом печатной платы является такая, у которой с одной стороны изоляционной пластины находятся печатные проводники, а с другой — радиодетали. В некоторых случаях, например при очень сложных схемах, а также в малогабаритной аппаратуре, не удается разместить все печатные проводники на одной стороне и приходится плату выполнять двусторонней, располагая печатные проводники на обеих сторонах изоляционной пластины. Изготовление двусторонней печатной платы намного сложнее, и, кроме того, сборка радиосхем на таких платах труднее поддается механизации.

В настоящее время предложено около трех десятков различных методов изготовления печатных схем. Однако все методы получения печатного монтажа можно разделить на две принципиально различные группы: обработку плакированной заготовки и металлизацию заготовки из изоляционного материала. Исключение составляет комбинированный метод, при котором используются технологические приемы обеих групп.

К первой группе относятся следующие способы получения печатного монтажа:

1) химический метод;

2) метод механического удаления металла с пробельных участков печатной платы из плакированного диэлектрика.

Ко второй группе относятся способы нанесения проводников на заготовки:

1) электрохимический способ;

2) способ переноса;

3) способ вжигания;

4) способ катодного и термического напыления.

В комбинированном методе объединяются способы обеих групп.

Способы нанесения изображения печатных проводников. Почти у всех перечисленных выше способов получения печатного монтажа имеется операция нанесения на заготовку изображения (позитивного

или негативного) печатного монтажа. Наносить изображение можно офсетным способом, фотоспособом, сеткографией, способом ручного рисования, закраской через трафарет кистью или из распылителя и т. д.

Офсетный способ. В условиях массового производства нанесение краски осуществляется способом офсетной печати. Печатание производят на плоскопечатном офсетном станке типографской краской с помощью клише.

Станок (рис. 1) состоит из станины *4* с двумя направляющими, по которым движется каретка с вращающимся барабаном *3*. Между направляющими укреплены два стола *1* и *6*, на одном из которых устанавливается форма-клише *2*, а на другом заготовка — плата *5*. На барабан натянута специальная офсетная резина, с помощью которой краска с формы переносится на плату. Краска *7* переходит с клише *2* на резину, а с нее на плату *5*. Возвратно-поступательное движение каретки и вращательное движение барабана строго согласованы, так что резина при этих перемещениях не скользит по изделию и форме, а прокатывается, не размазывая краску рисунка. В это же время валиком *8* наносится краска на форму-клише *2*. Форма-клише, таким образом, является оригиналом, с которого производится печать.

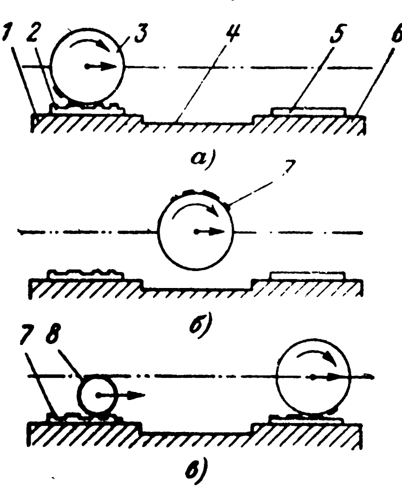


Рис. 1. Офсетный способ печати.

Для печати применяют цинкографские или биметаллические клише с рельефным изображением. В зависимости от способа изготовления печатного монтажа клише изготовляют с позитивным или негативным изображением печатных проводников. После нанесения рисунка схемы краску припудривают порошкообразной канифолью и тальком и сплавляют в печи при температуре 100—110° С. Канифоль наносят для улучшения кислотостойкости напечатанного рисунка.

Простота технологического процесса и высокая производительность при офсетном печатании рисунка позволяют применять его для серийного и массового производства печатных плат.

Фото-способ основан на применении принципов обычной фотографии. Печатная схема вычерчивается в увеличенном масштабе (2 : 1 или 4 : 1) на специальном ватмане с координатной сеткой светло-голубого цвета. Печатные проводники заливаются черной тушью, получается оригинал печатной схемы. Оригинал фотографируется на контрастную фотопленку с соответствующим уменьшением, так чтобы получить негатив в натуральную величину; неконтрастная координатная сетка на пленке не получается.

Далее процесс (рис. 2) осуществляется путем нанесения светочувствительного слоя на заготовку; экспонирования негатива, печатной схемы, прижатого к эмульсионному слою заготовки; проявления скрытого изображения, при котором пробельные, не задубленные светом участки эмульсии смываются; закрепления слоя с целью придания ему большей стойкости к воздействию реактивов.

Этот способ обеспечивает наибольшую разрешающую способность и точность, поэтому особенно пригоден при производстве плат с печатным монтажом для малогабаритной и миниатюрной радиоаппаратуры. Его можно применять как при серийном производстве аппаратуры, так и в лабораторных условиях.

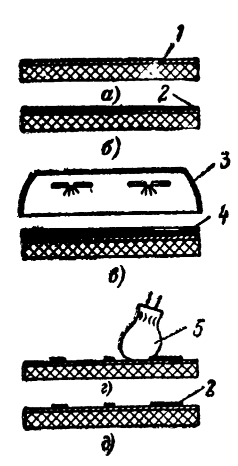


Рис. 2. Фото-способ нанесения изображения на заготовку печатной платы.

а — заготовка; *б* — нанесение фотослоя на заготовку; *в* — печатание (засветка); *г* — проявление изображения; *д* — заготовка с нанесенным на нее изображением печатной схемы; *1* — заготовка; *2* — светочувствительный слой; *3* — осветитель; *4* — негативная пленка; *5* — тампон, смоченный теплой водой.

Способ сеткографии (рис. 3) состоит в том, что на шелковую (капроновую, нейлоновую, металлическую) сетку *2*, натянутую на рамку *1*, наносится светочувствительный слой *3*, а на него с прозрачного позитива (фотопленки), у которого непрозрачные части изображения соответствуют будущим проводникам, печатается изображение монтажа. Светочувствительный слой, лежащий на шелке, в засвеченных местах задубится и становится нерастворимым в воде, а незасвеченную часть можно смыть теплой водой. После смывания незасвеченной части светочувствительного слоя мы получим на шелковой ткани места, на которых будет прочно держаться фотографический слой, непроницаемый для краски. В остальных местах, соответствующих рисунку печатных проводников, шелковая ткань будет пропускать краску. Если рамку с шелковым негативом укрепить над заготовкой, а внутри рамки поместить краску, то при передвижении скребка *4* краска *5* будет выдавливаться через шелк в местах, не защищенных фотослоем, и на заготовке получится позитивное изображение печатного монтажа, выполненное защитной краской.

Применение этого способа целесообразно при выпуске массовой продукции, так как обеспечивает наибольшую производительность по сравнению с офсетным и фото-способами. Достоинством способа сеткографии является возможность полной автоматизации процесса нанесения рисунка печатного монтажа на заготовку.

Способ сеткографии обладает значительно меньшей точностью и разрешающей способностью, чем офсетный и фото-способы. Но он вполне приемлем при выпуске обычной (не малогабаритной) радиоаппаратуры. Рисунок печатных плат радиовещательных приемников и телевизоров в большинстве случаев выполняется этим способом.

Способ ручного рисования состоит в том, что рисунок печатного монтажа наносится вручную кислотоупорной краской на заготовку. Этот способ наиболее часто применяется при лабораторной отработке радиоаппаратуры и в радиолюбительской практике.

Рис. 3. Нанесение изображения способом сеткографии.

а — шелковый трафарет; *б*—продавливание краски через трафарет; *в* — плата с нанесенным на нее рисунком.

Способ закраски через трафарет заключается в нанесении рисунка печатного монтажа на заготовку через трафарет, вырезанный из бумаги, прессшпана или тонкого листового металла. В трафарете сделаны вырезы, соответствующие печатным проводникам. Трафарет накладывается на заготовку и кислотоупорной краской с помощью кисти или распылителя через прорези наносится краска.

Способы получения печатных схем

Химический способ в настоящее время получил самое широкое распространение в массовом производстве радиоаппаратуры. Сущность метода (рис. 4) заключается в вытравливании фольги *1* с поверхности плакированной заготовки *2* (на пробельных участках), в качестве которой чаще всего используются фольгированный гетинакс или стеклотекстолит. На плакированную заготовку наносится позитивный рисунок *3* печатного монтажа, т. е. защитный слой ложится на те места заготовки, на которых должна остаться фольга, затем заготовка помещается в раствор хлорного железа *4*, где происходит вытравливание *5* незащищенных участков фольги *1*.

Таким образом, технологический процесс травления фольгированного гетинакса состоит из следующих основных операций:

1) подготовки поверхности (очистка);
2) нанесения рисунка схемы;
3) травления;
4) удаления защитного слоя;
5) сверления отверстий.

В зависимости от способа нанесения защитного рисунка на заготовку имеется несколько разновидностей химического метода. Эти разновидности сокращенно называют «фотохимическим» — при нане-

сении рисунка фото-способом, «сеточнохимическим» — при нанесении рисунка способом сеткографии и «офсетнохимическим» — при нанесении рисунка офсетным способом.

Фотохимический метод позволяет получить самую большую разрешающую способность по сравнению с другими технологическими методами изготовления печатного монтажа. Это качество особенно ценно при изготовлении печатного монтажа миниатюрной радиоаппаратуры и некоторых печатных радиоэлементов, таких, например, как катушки индуктивности.

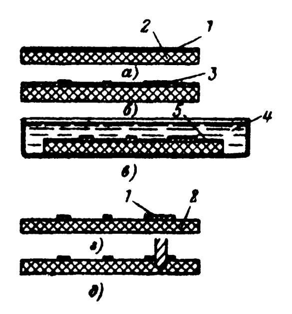


Рис. 4. Химический метод.

а — подготовка поверхности (очистка); *б* — нанесение рисунка схемы; *в*—травление; *г*—удаление защитного слоя; *д*—сверление отверстий.

Точность и разрешающая способность химического метода зависят от способа нанесения рисунка печатного монтажа. При фотохимическом методе точность ±0,05 *мм*, а резрешающая способность 0,2 *мм*. Офсетнохимический метод дает меньшую точность ±0,2 *мм* и разрешающую способность 0,5 *мм*. Сеточнохимический метод обеспечивает точность ±0,2 *мм* и разрешающую способность 1 *мм*.

Хотя фотохимический метод позволяет делать ширину печатного проводника равной 0,2 *мм*, но на практике стараются делать их шире, так как при такой ширине проводника уменьшается сцепление его с подложкой из-за подтравливания, уменьшающего и так небольшую площадь склейки проводника с платой.

Если позволяют размеры печатной платы, то, как правило, печатные проводники, выполненные химическим методом, имеют ширину от 0,5 до 1,5 *мм*. Химический метод получил широкое распространение. К достоинствам химического метода относятся высокая точность, простота технологического оборудования, быстрота налаживания производства, легкий переход от одной схемы к другой, высокая производительность (офсетно- и сеточнохимический методы), высокое качество проводников.

К недостаткам относятся: невозможность металлизации отверстий, непроизводительный расход металла, снимаемого травлением; снижение изоляционных свойств диэлектрика платы, происходящее под действием реактивов.

Электрохимический метод состоит в том, что после предварительного нанесения кислотоупорными красками рисунка на основание в местах, не защищенных рисунком, производится гальваническое наращивание медных проводников печатной схемы.

Этот метод обеспечивает одновременную металлизацию отверстий в плате, предназначенных для установки навесных деталей,

а также для электрической связи между проводниками при двусторонней печатной плате.

Процесс изготовления печатных плат электрохимическим методом включает следующие основные операции (рис. 5):

а) заготовку плат (сверление и зенковка отверстий);
б) матирование поверхности (пескоструйная обработка);
в) химическое меднение;
г) нанесение рисунка схемы;
д) гальваническое меднение;
е) удаление защитного слоя;
ж) травление подслоя меди.

Заготовленные платы из изоляционного материала с просверленными и раззенкованными отверстиями подвергают пескоструйной обработке для придания поверхности шероховатости, что улучшает сцепление химически осаждаемого металла с основанием.

Для того чтобы на плату нанести гальваническим способом электролитическую медь, необходимо электрическое соединение между собой наращиваемых участков. Для этого служит слой меди или серебра (1—5 *мкм*), осаждаемый химическим путем на всю поверхность заготовки и в монтажные отверстия.

Следующей операцией является нанесение на металлизированную плату рисунка печатного монтажа кислотоупорной краской или эмульсией. Рисунок может быть нанесен любым из перечисленных выше способов. Следует заметить, что в отличие от химического способа при электрохимическом наносится негативный рисунок печатного монтажа, т. е. краской покрывают пробельные участки монтажа; места, где будут печатные проводники, краской не защищены.

Далее плату помещают в электролитическую ванну, в которой наращивают на незащищенные проводники слой меди необходимой толщины, обычно 25 *мкм*. После удаления защитного слоя получают плату, у которой печатные проводники электрически соединены между собой химическим подслоем меди. Подслой химической меди с пробельных участков вытравливают химическим или электрохимическим путем.

Кроме основных технологических операций, указанных выше, имеется целый ряд промежуточных: промывка плат, сушка, контроль, нанесение различных покрытий для облегчения пайки (гальваническое покрытие проводников припоем или же флюсовым лаком для защиты проводников от коррозии и удобства пайки и т. п.), которые не указаны как при описании электрохимического метода, так и при описании других способов получения печатных плат.

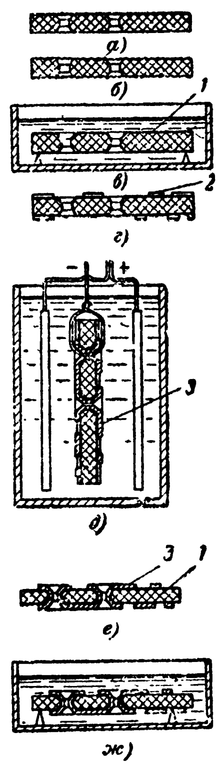


Рис. 5. Электрохимический метод.

1 — слой химической меди; *2* — кислотоупорный защитный слой; *3* — электролитическая медь.

Точность и разрешающая способность электрохимического метода зависят от способа нанесения рисунка печатной схемы При фотоспособе точность ±0,15 *мм* и разрешающая способность 0,5 *мм* При офсетном нанесении рисунка точность ±0,2 *мм*, а разрешающая способность 1 *мм*. При методе сеткографии точность ±0,3 *мм*, разрешающая способность 1,5 *мм*.

Достоинствами электрохимического метода являются: одновременная с наращиванием проводников металлизация отверстий, простота технологического оборудования и быстрота налаживания производства; экономия металла, который расходуется только на печатные проводники.

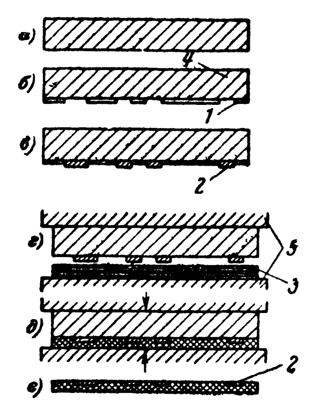


Рис. 6. Метод переноса.

а — пластина из нержавеющей стали; *б* — нанесение негативного рисунка печатного монтажа; *в* — наращивание на пластину гальваническим способом медных проводников; *г* — удаление защитного слоя; *д* — прессовка печатной платы; *е* — готовая плата.

К недостаткам относятся: меньшая, по сравнению с химическим методом, прочность печатных проводников и повышенное электрическое сопротивление их; меньшие точность и разрешающая способность; снижение качества диэлектрического основания из-за воздействия химических реактивов; большая трудоемкость. Из-за перечисленных недостатков этот метод в чистом виде почти не применяется.

Метод переноса основан на способности определенных электролитов при электролизе давать на некоторых металлах и сплавах осадки меди, имеющие слабое сцепление с основанием, на которое они осаждаются.

Метод переноса (рис. 6) состоит в том, что на полированную пластину из нержавеющей стали *4* наносится негативный рисунок *1* печатной схемы фото- или сеткографическим способом. При этом пластина остается не покрытой защитной кислотоупорной пленкой в местах, где должны быть будущие проводники. Подготовленная таким образом пластина помещается в гальваническую ванну для осаждения меди *2* в местах, не защищенных пленкой. Толщина наращиваемых проводников составляет 25—50 *мкм*. Эти проводники, достаточно прочные сами по себе, слабо сцеплены с пластиной из нержавеющей стали.

После осаждения меди с пластины смывается защитная пленка и пластина кладется проводниками вниз на пакет бумаги *3*, пропитанный бакелитовым лаком. Все это помещается между нагретыми

плитами пресса 5. После прессовки и прогрева, необходимого для полимеризации бакелита, стальная пластина отделяется от гетинакса, полученного из спрессованной бумаги, пропитанной бакелитом, причем печатные проводники 2 отделяются от стальной пластины и оказываются запрессованными в гетинаксовой плате.

Имеются другие варианты метода переноса. Можно проводники со стальной пластины переносить на изоляционное основание путем приклеивания. Для этого изоляционное основание покрывают слоем клея БФ и к нему прижимают пластину с проводниками. После нагрева и полимеризации клея БФ стальную пластину отделяют от изоляционного основания, при этом проводники окажутся приклеенными к нему.

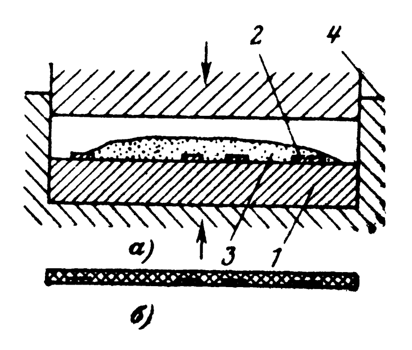


Рис. 7. Метод переноса с запрессовкой проводников в прессматериал.

а — прессовка основания с одновременной запрессовкой печатных проводников; *б* — готовая печатная плата.

Разновидностью методов переноса является метод запрессовки проводников, позволяющий использовать пресс-материалы, например АГ-4, для изготовления основания с одновременным получением печатной схемы (рис. 7), для чего пластину *1* с печатными проводниками *2* укладывают в матрицу пресс-формы *4*. При этом одновременно с прессованием платы из пресспорошка *3* осуществляется перенос проводников со стальной пластины на плату.

Таким образом, метод переноса состоит из следующих основных технологических операций:

1) подготовки пластины из нержавеющей стали;

2) нанесения на пластину негативного кислотоупорного рисунка печатного монтажа офсет-, фото- или шелкографическим методом;

3) наращивания на пластину гальваническим способом медных проводников;

4) удаления кислотоупорного защитного слоя;

5) прессовки печатной платы.

Достоинства методов переноса следующие: экономное расходование меди, высокая прочность сцепления проводников с основанием, высокое качество диэлектрика основания из-за отсутствия воздействия химических реагентов.

К недостаткам относятся: длительность процесса изготовления печатных плат, невозможность металлизации отверстий, пониженная электропроводность токопроводящих печатных проводников по сравнению с проводниками, полученными химическим методом.

Точность получения изображения при методе переноса зависит от способа нанесения рисунка печатного монтажа. При фото-способе и офсетном точность составляет ±0,2 *мм*, при сеточном ±0,3 *мм*. Разрешающая способность равна соответственно 0,5 и 1 *мм*.

Метод вжигания — очень старый метод. Еще до того, как стали применять печатные схемы для монтажа больших радиоустройств,

этот способ использовался для получения печатного монтажа небольших узлов, а также для изготовления различных деталей: катушек самоиндукции, полупеременных конденсаторов и т п

Сущность метода состоит в том, что на керамическую плату наносится рисунок схемы пастой, главной составной частью которой является серебро (до 50%). Такая плата помещается в печь, где поддерживается температура до 700° С. В результате воздействия высокой температуры на пасту последняя спекается и прочно соединяется с керамической платой.

Положительным является то, что схемы, полученные методом вжигания, имеют весьма прочное сцепление проводников с подложкой, хорошую электропроводность проводников.

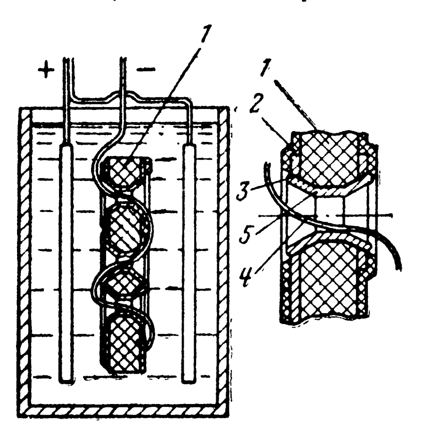


Рис. 8. Комбинированный метод.

В настоящее время этот метод получил широкое распространение в промышленности, так как является высокопроизводительным и обеспечивает достаточно высокую, до 0,1—0,2 *мм*, точность при использовании сеткографии.

Комбинированный метод состоит из комбинации двух методов — химического и электрохимического и больше всего подходит для изготовления плат с двусторонним печатным монтажом.

Сущность его в том (рис. 8), что на печатную плату *1*, выполненную химическим способом, наносится слой кислотоупорного лака *2* со стороны расположения печатных проводников. При двусторонней печатной плате лак наносится на обе стороны платы, затем сверлятся и зенкуются монтажные отверстия. На стенки отверстий наносится слой химической меди *3*, после чего через отверстия пропускается голая медная проволока *4*, обеспечивающая электрический контакт химического покрытия с источником напряжения. Плата помещается в электролитическую ванну, в которой на металлизированные отверстия наращивается электролитическая медь *5*.

Основные технологические операции следующие:

1) изготовление печатной платы химическим способом (см. стр. 11);

2) нанесение защитного кислотоупорного слоя на всю поверхность печатной платы;

3) сверление и зенкование монтажных отверстий;

4) химическая металлизация стенок отверстий;

5) прошивка отверстий медной проволокой;

6) наращивание гальванической меди на стенки отверстий;

7) удаление защитного слоя.

Точность изготовления печатного монтажа и разрешающая способность этого метода такие же, как и у химического метода.

Положительным является то, что этот метод позволяет получить металлизированные отверстия одновременно с получением печатного монтажа, в остальном все качественные параметры соответствуют химическому методу.

К недостаткам относится значительное снижение электрических параметров диэлектрика вследствие двукратного воздействия реактивов на него.

Из описанных методов изготовления печатных плат самое широкое распространение получили химический и комбинированный методы.

Пайка погружением. Сущность пайки погружением состоит в том, что все выводы навесных деталей одновременно распаиваются на проводники печатного монтажа при погружении нижней поверхности платы в расплавленный припой. Этот процесс отличается более высокой производительностью, чем ручной способ пайки с помощью электрического паяльника. Пайку погружением можно применять для печатных плат с односторонним расположением навесных деталей. При двустороннем печатном монтаже пайка погружением возможна только на одной стороне платы. Пайка на другой стороне платы производится электрическим паяльником.

Метод пайки погружением требует некоторого изменения конструкции самих печатных плат и характера подготовки деталей к пайке. Во всех случаях, независимо от способа монтажа, концы выводов навесных деталей должны быть плотно прижаты к проводникам печатного монтажа или к зенкованной поверхности металлизированного отверстия.

Во время пайки печатный монтаж платы защищают от облуживания маской из бумаги, в которой сделаны отверстия против контактных площадок печатного монтажа. Пайка погружением может производиться автоматически.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОАППАРАТУРЫ С ПЕЧАТНЫМИ СХЕМАМИ

Особенности конструирования аппаратуры с печатными схемами

При конструировании радиоустройств с печатным монтажом следует учесть, что печатные узлы представляют плоскостную конструкцию ограниченных размеров (большие печатные платы сильно коробятся), поэтому в большинстве случаев сложные конструкции выполняются на нескольких печатных платах. Исключение составляют транзисторные приемники, которые, как правило, смонтированы на одной печатной плате.

В зависимости от конструкции радиоустройства печатные платы могут располагаться в одной плоскости, в несколько параллельных рядов и перпендикулярно друг к другу.

В первом случае необходимо выбрать такие размеры и отношение сторон печатной платы, чтобы ими заполнить площадь, отведенную для монтажа радиоустройства. При этом разбивку всей схемы на отдельные печатные узлы надо произвести с таким расчетом, что-

бы каждый узел представлял собой отдельную функциональную часть схемы. Например, схему телевизора иногда разбивают на следующие платы: плату приемников (УПЧ изображения и звука, видеокаскад, дискриминатор и УНЧ), плату каскадов синхронизации и кадровой развертки, плату задающего генератора строчной развертки, плату блока питания. Иногда схему дробят на более мелкие узлы.

При расположении всех плат в одной плоскости соотношение сторон должно быть выражено целыми числами 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3. Это облегчает сборку отдельных узлов в единую конструкцию. При этом не обязательно делать все платы, входящие в конструкцию одного

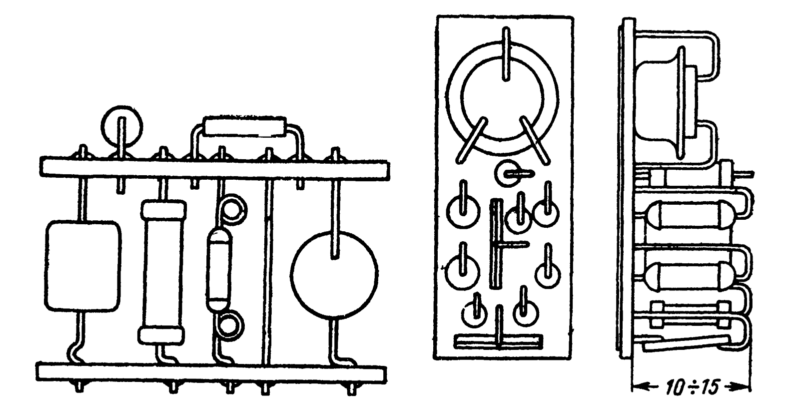


Рис. 9. Этажерочная конструкция печатного узла.

Рис. 10. Вертикальный монтаж радиодеталей.

размера, важно только, чтобы стороны плат были кратны меньшей стороне платы, принятой за основную. Наиболее удобным и обеспечивающим максимальную гибкость при конструировании является отношение сторон 1 : 2.

Размеры плат класса А (с нормальной плотностью монтажа, см. стр. 35) обычно не должны превышать 350 *мм* (бо́льшая сторона платы), а для плат класса Б (с повышенной плотностью монтажа) — 150 *мм*.

При объемной конструкции печатные платы могут быть расположены перпендикулярно друг другу (Г- и П-образные конструкции). Можно расположить несколько плат вертикально на одном основании. В этом случае печатная плата — основание является соединительной, по которой проходят цепи, соединяющие отдельные платы.

При компоновке радиоустройств платы надо располагать так, чтобы был легкий доступ к радиодеталям при налаживании и ремонте их. Правильно располагать детали снаружи платы, неправильно — на внутренней поверхности платы, так как при таком расположении затруднен доступ к деталям и для облегчения его надо усложнять конструкцию — делать одну плату откидной. При многоплатной

конструкции для облегчения доступа к деталям конструкцию выполняют раскрывающейся (типа книги) или платы вдвигаются по направляющим. В первом случае все внешние цепи выводят на одну сторону платы (к шарниру) и к ним подпаивают гибкие провода. При вдвижной конструкции внешние цепи выводят тоже на одну сторону, где ставят разъем или впаивают провода внешних цепей (жгут). При такой конструкции для того, чтобы иметь доступ к деталям при работающем радиоаппарате, нужен переходной кабель, или жгут выполняют в виде длинной петли.

Когда необходимо в небольшом объеме разместить сложную схему с большим числом радиоэлементов, применяют межплатный монтаж (этажерочный). В этом случае радиодетали монтируют между двумя печатными платами, как показано на рис. 9. На этих же платах можно дополнительно размещать детали горизонтально. Недостатком этажерочной конструкции является ее неремонтоспособность; сменить вышедшую из строя деталь внутри узла практически невозможно. Замене поддаются только крайние детали.

Как правило, радиодетали располагают на печатной плате горизонтально (параллельно плате), но стремление лучше использовать площадь печатной платы заставляет иногда ставить их вертикально (рис. 10). Такое расположение, давая выигрыш в использовании объема, затрудняет конструирование печатного монтажа, так как между близко расположенными выводами радиодеталей можно пропустить меньшее число печатных проводников.

Навесные радиодетали, используемые в конструкциях с печатным монтажом

Для установки на платах с печатным монтажом используют как специальные детали, предназначенные для этой цели, так и обычные радиодетали, используемые в аппаратуре с объемным монтажом.

Детали, предназначенные для печатного монтажа, отличаются тем, что у них все выводы выведены в одну сторону. Выводы этих деталей пропускают через отверстия в печатной плате и припаивают к контактным площадкам печатных проводников. Дополнительного крепления, как правило, они не требуют. Исключение составляют тяжелые детали и детали, которые при эксплуатации подвергаются механической нагрузке. Например, переменные резисторы дополнительно закрепляются на скобе.

Тяжелые детали закрепляют с помощью ниток, отгибающихся лапок, пружинных защелок и т. п. (рис. 11). Для крепления некоторых радиодеталей применяются пружинящие скобы. В последнее время широкое распространение получил способ крепления радиодеталей к печатной плате с помощью эпоксидного клея или специальной мастики.

При печатном монтаже используют также детали, предназначенные для радиоаппаратуры с объемным монтажом. В большинстве случаев эти детали нельзя без доработки использовать для установки на платах с печатным монтажом.

Детали массового применения с осевыми выводами — резисторы и конденсаторы малой и средней емкости, приспосабливаются просто; выводы у них отгибаются в одну сторону.

У ламповых панелей нужно отогнуть лепестки так, чтобы они смотрели в одну сторону. В центральное отверстие ламповой панели вставляется винт с потайной головкой, который крепит ее к печатной плате.

Электролитические конденсаторы с креплением гайкой (КЭ-2) на платах с печатным монтажом применять неудобно. Удобны электролитические конденсаторы типа КЭ-1, которые крепят хомутиками с

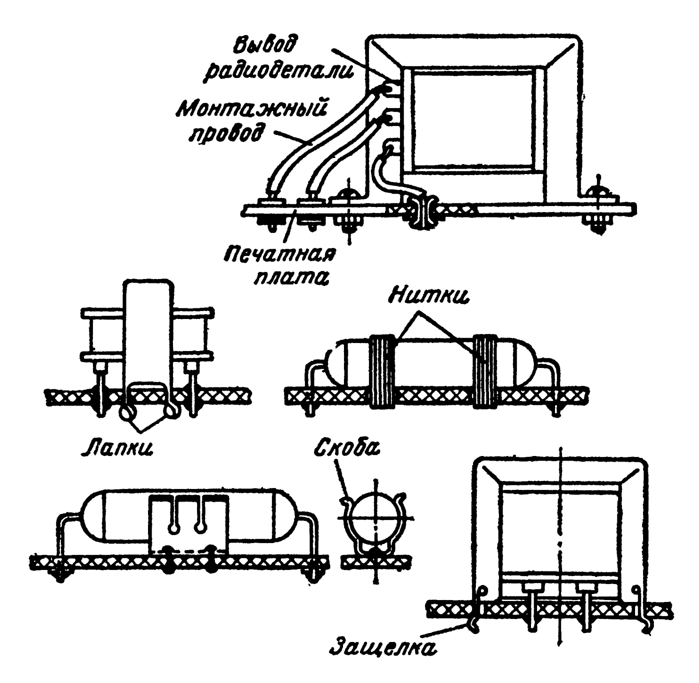


Рис. 11. Установка радиодеталей с дополнительным креплением.

крепежными лапками, пропущенными через отверстия в плате и загнутыми с противоположной стороны, или же хомутиками с креплением болтами.

Выводы потенциометров типа СП сгибают под углом 90° и пропускают через отверстия в печатной плате.

Блоки конденсаторов переменной емкости, трансформаторы и другие детали, имеющие малое количество жестких выводов, переделывать необязательно. Соединение выводов производят монтажным проводом, один конец которого пропущен через отверстие в печатной плате и припаян к контактной площадке, а второй конец припаян к выводу радиодетали (рис 11).

Формовка выводов навесных радиодеталей зависит от того, на каких печатных платах они устанавливаются: на платах с металлизированными отверстиями или на платах без металлизации отвер-

стий. К первой группе плат относятся платы, выполненные электрохимическим и комбинированным способами, ко второй — платы, выполненные химическим способом и способом переноса при условии, что в монтажные отверстия их не поставлены металлические пистоны.

Основное отличие монтажа деталей на тех или других типах печатных плат состоит в том, что выводы, запаянные в металлизированные монтажные отверстия или отверстие с металлическим пистоном, при приложении к ним осевых сил в противоположных направлениях не могут перемещаться в отверстиях (рис. 12, *а*).

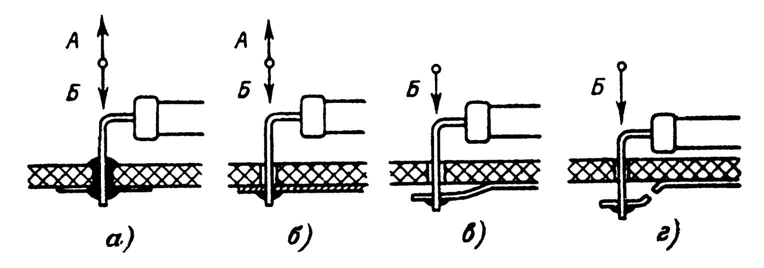


Рис. 12. Установка выводов радиодеталей в монтажных отверстиях печатных плат.

В случае неметаллизированных отверстий вывод не может перемещаться только в одном направлении (стрелка *А*, рис. 12, *б*). При приложении усилия по стрелке *Б* вывод переместится, при этом произойдет отделение печатного проводника от изоляционной платы (рис. 12, *в*) и даже разрыв его (рис. 12, *г*).

Таким образом, различие в установке деталей на печатных платах с металлизированными или неметаллизированными отверстиями сводится к тому, чтобы так отформовать вывод детали, устанавливаемой на печатной плате с неметаллизированными отверстиями, чтобы он не мог перемещаться в отверстии. Достигается это или укладкой детали вплотную к плате (рис. 14, *а*) или же соответствующим выгибом вывода радиодетали (рис. 14, *г*).

При формовке выводов радиодеталей надо выполнять также следующие требования: во-первых, не изгибать вывод радиодетали близко от его заделки в корпусе, так как при изгибе вывода у основания можно сломать его, а в случае, если вывод проходит через стеклянный изолятор (например, у транзисторов и диодов), последний может треснуть, через трещину проникает влага и с течением времени радиодеталь выйдет из строя. Второе требование — не производить пайку вывода радиодетали ближе определенного расстояния, что обязательно при монтаже германиевых полупроводниковых деталей. Минимальные расстояния, на которых можно производить загиб, а также пайку, оговорены в технических условиях на данную радиодеталь. У радиолюбителя может не быть этих данных, так как не во всех справочниках они приводятся, тогда можно придерживаться следующих размеров: гнуть выводы не ближе 3 *мм*, а пайку полупроводниковых радиоэлементов производить не ближе 5 *мм*. При гибке выводов радиодетали необходимо придерживать плоскогубцами или пинцетом вывод у основания (рис. 13).

В радиолюбительских условиях пайку резисторов и конденсаторов можно производить и ближе к корпусу, это бывает необходимо при изготовлении миниатюрной радиоаппаратуры и при монтаже с вертикальным расположением деталей. У резисторов, в крайнем случае, пайку можно производить у основания детали, а у конденсаторов — на расстоянии 2 *мм* от корпуса, для чего на вывод надевается изоляционная втулка. По возможности следует избегать пайки на таком близком расстоянии от корпуса, так как сильный перегрев резистора может вызвать изменение его сопротивления до 20% от номинальной величины. Перегрев выводов конденсатора часто вызывает растрескивание или оплавление материала изолятора, через который проходит вывод.

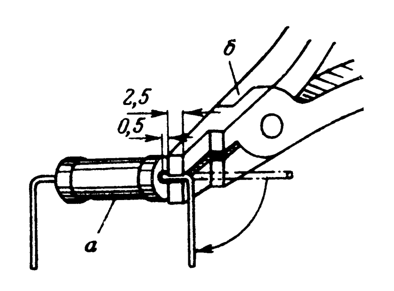


Рис. 13. Формовка выводов радиодеталей.

а — радиодетали; *б* — плоскогубцы с доработанными губками.

Широкое применение при конструировании односторонних печатных плат нашел способ установки навесных радиодеталей вплотную к поверхности платы. При такой установке детали занимают минимальный объем, а формовка выводов самая простая (рис. 14, *а*). В том случае, когда надо увеличить расстояние от корпуса радиодетали до места пайки (при установке германиевых диодов и т. п.), выводы формуют более сложно, в соответствии с рис. 14, *б*. Во всех случаях формовки выводов навесных радиодеталей расстояние между выводами должно быть кратно шагу координатной сетки, т. е. 2,5 *мм* (см. стр. 35).

При установке навесных радиодеталей на двусторонние печатные платы вплотную к поверхности необходимо на последнюю наклеить, под радиодеталью, гетинаксовую пластинку (рис. 14, *в*) или деталь приподнять над плоскостью печатной платы (рис. 14, *г*). Для фиксации детали по высоте у выводов делают ограничивающие выгибы. Если при компоновке печатной платы выяснится, что под данной деталью надо пропустить большое число печатных проводников, то выводы формуют согласно рис. 14, *г* (слева). При установке деталей на печатные платы с металлизированными отверстиями можно не делать ограничивающие выгибы (рис. 14, *д*).

Для увеличения плотности монтажа в тех случаях, когда на печатных платах установлены высокие детали (трансформаторы, катушки индуктивности, конденсаторы ЭТО и т. п.), применяют вертикальную установку навесных радиодеталей (рис. 14, *е*). При такой установке радиодеталей в некоторых случаях может не хватить длины верхнего вывода, его нельзя будет пропустить в отверстие печатной платы. В этом случае рядом с навесной радиодеталью запрессовывается стойка *1*, к которой и припаивается верхний вывод детали. Вертикальная установка детали при металлизированных отверстиях показана на первом из рис. 14, *е*.

Транзисторы обычно устанавливают в соответствии с рис. 14, *ж*, при этом выводы отгибаются в одну сторону или два вывода в одну

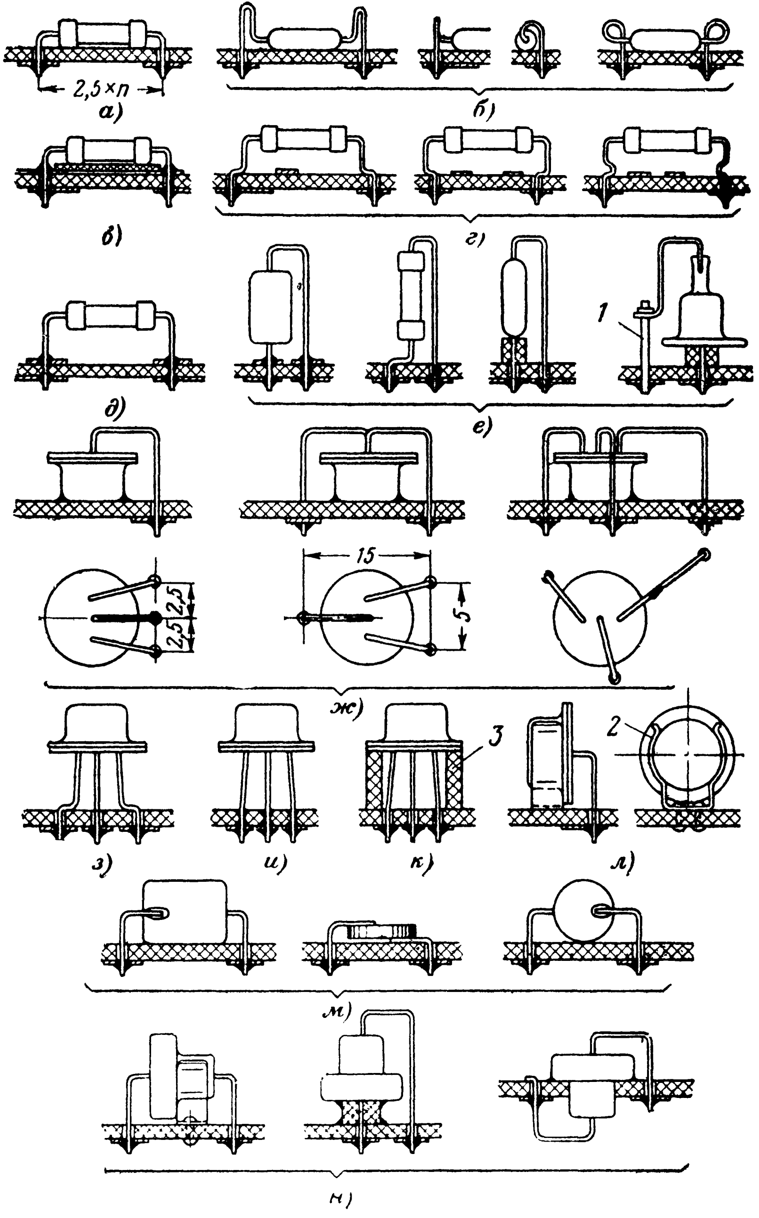


Рис. 14. Выгибание выводов радиодеталей.

сторону, а один в другую или выводы отгибают произвольно в зависимости от требований удобства выполнения печатного монтажа. Во всех трех случаях необходимо соблюдать основное правило монтажа навесных радиодеталей, чтобы все выводы располагались в узлах координатной сетки. Транзисторы можно также монтировать, как показано на рис. 14, *з* или на рис. 14, *л*. В последнем случае транзистор следует закрепить на плате с помощью пружинной скобы *2*. На платах с металлизированными отверстиями транзистор крепят в соответствии с рис. 14, *и* без формовки выводов, необходимо только соблюдать соответствующее расстояние от корпуса до пайки. Такой монтаж применяют и при использовании плат с неметаллизированными отверстиями, но в этом случае между транзистором и печатной платой ставят на клей изоляционную втулку *3* (рис. 14, *к*).

Выше была показана установка и формовка выводов резисторов, диодов, транзисторов и конденсаторов с цилиндрическим корпусом. Аналогично устанавливают конденсаторы с прямоугольными и дисковыми корпусами (рис. 14, *м*).

Монтаж танталовых конденсаторов типа ЭТО-1 и ЭТО-2 показан на рис. 14, *н*. В первом случае конденсатор крепится к печатной плате скобой, а в остальных — с помощью эпоксидного клея.

Чтобы при монтаже радиодеталей, имеющих плоские (ленточные) выводы, например резисторы типа ВС, конденсаторы КБГ-И и т. п., не сверлить отверстия большего диаметра, их выводы обжимают или обрезают по ширине до 0,8—1 *мм*.

Печатные проводники

Основным элементом печатного монтажа является печатный проводник, который состоит из собственно проводника и концевой его части — контактной площадки с монтажным отверстием для соединения печатного проводника с выводом навесной радиодетали, а также для подключения внешних цепей.

На проектировании проводов печатного монтажа следует остановиться подробнее. Провода выполняют разные функции в зависимости от цепей, в которых они находятся, что определяет различные требования к ним.

Ширина печатного проводника зависит в основном от силы тока, протекающего по нему, от допустимого падения напряжения на проводнике, механической прочности и возможности его изготовления. Печатные провода благодаря своей плоской форме, а следовательно, и большой теплоизлучающей поверхности хорошо отдают тепло и допускают большие плотности тока. Нормальной плотностью тока для печатных схем является 20 *а/мм*^{2}. При этом провода практически не нагреваются. Печатные проводники выполняются обычно из фольги толщиной 0,05 *мм*, в этом случае на каждый миллиметр ширины проводника допускается ток 1 *а*.

При длинных проводниках, по которым протекают большие токи, бывает необходимо проверить падение напряжения на проводнике. Проверка производится по формуле

$$\Delta U = IRl/1\,000,$$

где I — ток, *а*; l — длина проводника, *мм*, а R берется из табл. 1.

Расстояние между проводниками во избежание пробоя следует делать согласно размерам, приведенным в табл. 2.

Таблица 1

Размеры проводника при толщине 50 *мкм*		Сопротивление проводника R, *ом/м*
Ширина, *мм*	Сечение, *мм*²	
0,5	,025	1
1	0,05	0,5
2	1,0	0,25
3	0,15	0,17

Таблица 2

Зазор между проводниками, *мм*	Допустимое рабочее напряжение, *в*
0,5	200
1	330
2	550
3	700

Не следует промежутки между проводами делать слишком малыми, так как расстояние в 0,5 *мм* в любительских условиях уже трудно выполнимо.

Все сказанное не относится к аппаратуре на транзисторах, где напряжения не превышают нескольких десятков вольт, токи не более 300 *ма* и расстояния между проводниками и их ширина определяются исключительно конструктивным и технологическим требованиями.

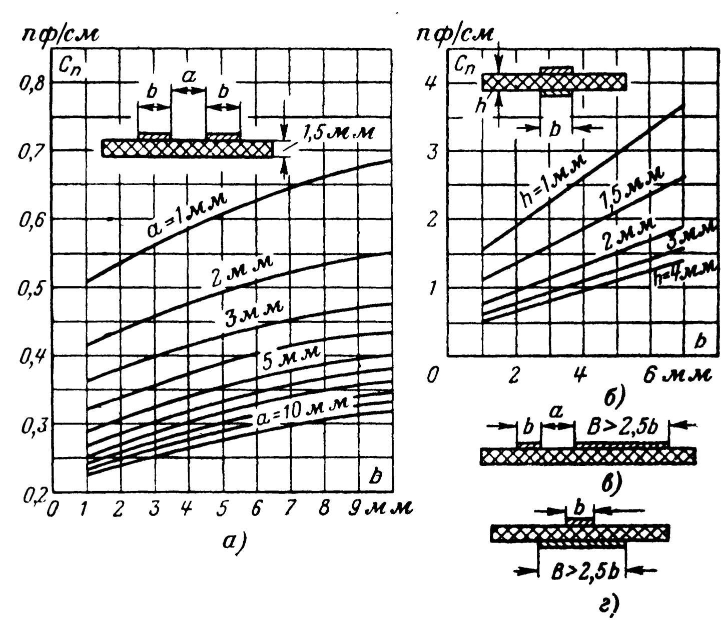


Рис. 15. Графики для определения паразитной емкости печатных проводников.

Проводники, расположенные на плате, должны иметь плавный переход от широкой части к узкой, а также плавный изгиб с внутренним радиусом не менее 2 *мм* при изменении направления проводника. Участки фольги, не используемые как проводники, желательно оставлять на плате, соединяя их между собой и с заземленными частями прибора. Надо стремиться оставить на плате максимальное количество меди для того, чтобы сэкономить раствор хлорного железа при травлении фольги. При этом необходимо следить, чтобы из заземленной фольги не образовался короткозамкнутый виток вокруг катушки индуктивности, так как он ухудшает ее параметры.

В местах, где ширина проводников больше 5 *мм*, необходимо делать в меди щелевидные промежутки во избежание отставания фольги от подложки, которое происходит из-за выделения газов во время пайки.

Таблица 3

$m=2,5$				$m=1$			
a	a_1	l, *мм*	n	a	a_1	l, *мм*	n
1	0	2,5	0	2	2	2,8	0
1	1	3,5	1	2	3	3,6	1
1	2	5,6	2	2	4	4,5	1
1	3	7,9	4	2	5	5,4	2
1	4	10,3	6	2	6	6,3	3
1	5	12,7	8	3	3	4,2	1
1	6	15,2	10	3	4	5,0	2
2	2	7,1	3	3	5	5,8	2
2	3	9,3	5	3	6	6,7	3
2	4	11,2	7	4	4	5,7	3
2	5	13,5	8	4	5	6,4	3
2	6	15,8	10	4	6	7,2	3
3	0	7,5	4	5	5	7,1	3
3	3	10,6	6	5	6	7,8	4
3	4	12,5	8	6	6	8,5	5
3	5	14,6	9	6	7	9,2	5
3	6	16,8	11	7	7	9,9	6

В некоторых случаях важно знать паразитную емкость ($C_п$) между проводниками. Для определения паразитной емкости служат графики (рис. 15). В случае расположения проводников на одной стороне платы пользуются графиком на рис. 15, *а*, этот график составлен для печатного монтажа, выполненного на фольгированном гетинаксе толщиной 1,5 *мм*, который чаще всего применяется. При двустороннем печатном монтаже паразитная емкость между проводниками, расположенными на противоположных сторонах платы, определяется по графику на рис. 15, *б*. В случае, когда второй проводник шире первого более чем в 2,5 раза (рис. 15, *в* и *г*), емкости, полученные по графикам на рис. 15, *а* и *в*, следует увеличить на 25%.

Ширину печатного проводника обычно выполняют в пределах

от 0,5 до 3 *мм* в зависимости от технологии изготовления печатного монтажа. Самая большая разрешающая способность — у фотохимического способа, при котором можно получать проводники шириной 0,2 *мм*, но при такой ширине печатного проводника очень слабо сцепление его с подложкой, поэтому проводники шириной менее 0,5 *мм* применяют только в исключительных случаях.

Минимальный размер контактной площадки 2,5 *мм*. Контактная площадка чаще всего выполняется круглой, но она может иметь и другую форму. Если между расположенными близко контактными площадками проходят печатные проводники, то площадку можно подрезать, при этом, если позволяет место, контактную площадку следует развить в противоположном направлении. Подрезать контактную площадку можно так, чтобы между краем ее и монтажным отверстием было расстояние 0,2—0,3 *мм*.

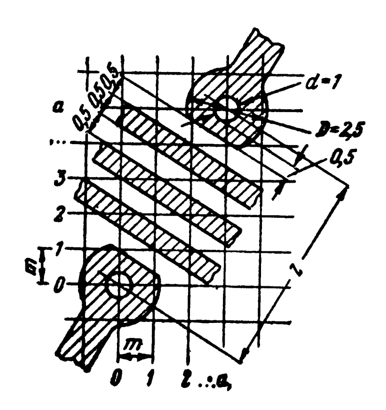


Рис. 16. Расположение печатных проводников между двумя контактными площадками.

а — число шагов координатной сетки (по вертикали); a_1 — число шагов (по горизонтали).

Для определения максимального числа печатных проводников *n*, которое можно проложить между двумя контактными площадками, выполненных химическим способом и расположенных в узлах координатной сетки (рис. 16), служит табл. 3, которая составлена для нормальной координатной сетки 2,5×2,5 *мм* и для применяемой радиолюбителями координатной сетки 1×1 *мм*. При этом диаметр монтажного отверстия принят равным 1 *мм*, а ширина проводников и зазоров между ними 0,5 *мм*.

Металлизированные отверстия при двустороннем печатном монтаже имеют контактные площадки с обеих сторон платы. При электрохимическом и комбинированном способах в монтажном отверстии находится гальванический пистон, соединяющий печатные проводники двух сторон платы, а отверстия имеют зенковку (рис. 17, *а*).

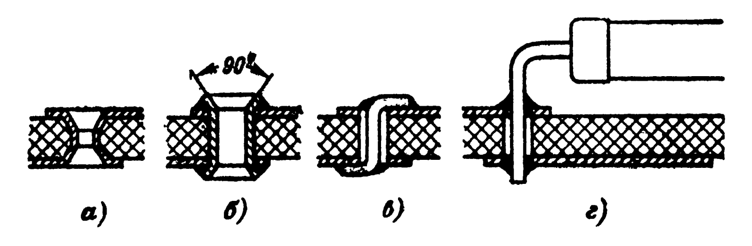


Рис. 17. Монтажные отверстия в печатных платах при двустороннем печатном монтаже.

При двусторонних печатных платах, выполненных химическим способом, переход печатных проводников осуществляется металлическим трубчатым пистоном, припаянным к печатным проводникам (рис. 17, *б*), или же отрезком монтажного провода (рис. 17, *в*), если отверстие не используется для монтажа вывода радиодетали. В радиолюбительских конструкциях для перехода проводника с одной стороны платы на другую используют вывод радиодетали (рис. 17, *г*).

Соединение печатных плат и выводные устройства

Внешние соединения печатных плат могут быть с такой же печатной платой, с кабелем, со жгутом монтажных проводов и, наконец, выводы отдельных цепей.

При расположении печатных плат в одной плоскости соединение их между собой можно осуществлять проволочными перемычками.

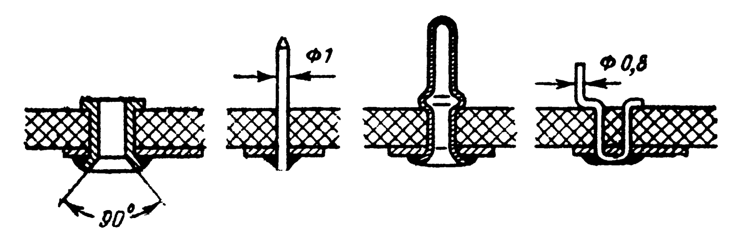


Рис. 18. Пистоны и монтажные стойки.

Перемычки припаиваются к выводным элементам, в качестве которых могут быть использованы пистоны и стойки различных конструкций (рис. 18). Пистоны со стороны печатных проводников должны быть развальцованы под углом 90°. Простейшая стойка выполняется из медной или латунной проволоки (1 *мм*), запрессованной в отверстии печатной платы и припаянной к печатному проводнику; на рис. 19

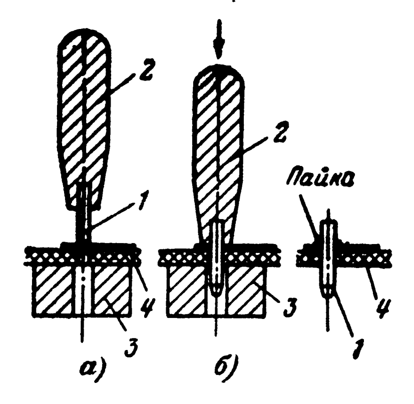


Рис. 19. Запрессовка стойки.
а — установка стойки; *б* — запрессовка; *1* — стойка; *2* — оправка; *3* — подкладка; *4* — печатная плата.

показана запрессовка такой стойки и необходимые для этого приспособления.

В том случае, когда соединения между платами должны быть легкосъемными, можно запрессовать в отверстия печатной платы ножки от радиолампы с октальным цоколем, а между ними поставить перемычки. Порядок установки ножки следующий: цоколь не-

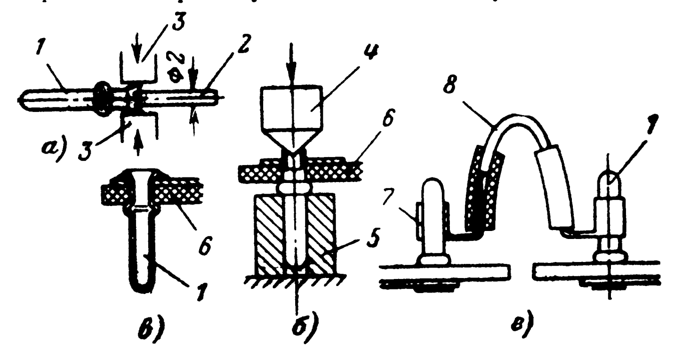


Рис. 20. Установка ножки цоколя лампы с октальным цоколем на печатную плату.

а — обжатие развальцованной части на стержне; *б* — монтаж ножки; *в* — смонтированная ножка; *г* — разъемное соединение выводов двух плат; *1* — ножка; *2* — стерженек диаметром 2 *мм*; *3* — плоскогубцы; *4* — керн; *5* — подкладка; *6* — печатная плата; *7* — гнездо ламповой панельки; *8* — монтажный провод.

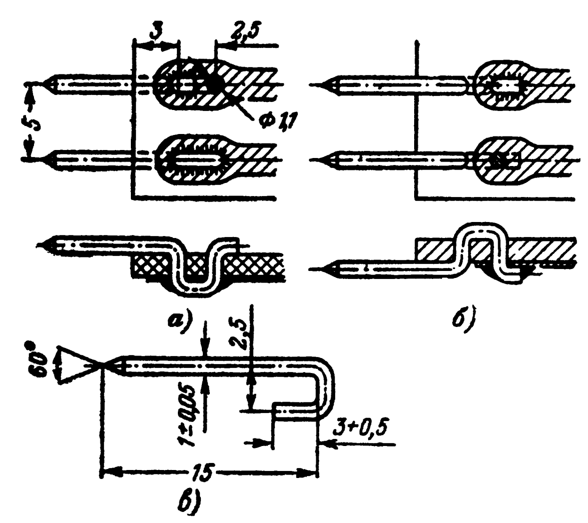


Рис. 21. Два способа монтажа контактных штырей.

а — первый способ; *б* — второй способ; *в* — заготовка штыря.

годной радиолампы разбивается, а затем раскалывается кусачками так, чтобы освободить, не повредив ножки. Затем, вставив внутрь

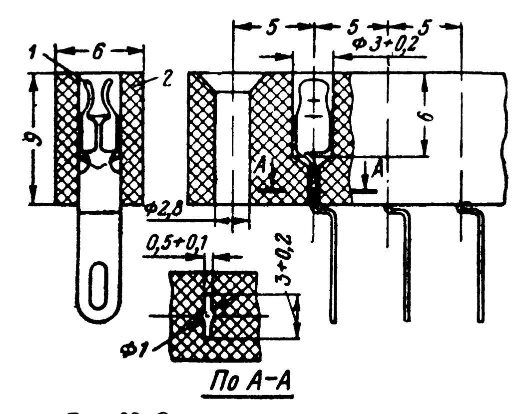


Рис. 22. Ответная часть разъема.

1 — гнездо панельки пальчиковой радиолампы; *2* — изоляционная колодка.

ножки стерженек диаметром 2 *мм*, нужно обжать вокруг него ранее развальцованную часть ножки (рис. 20, *а*), после чего ножку монтировать на печатной плате, как показано на рис. 20, *б* и *в*. Соединение между двумя такими стойками, смонтированными на двух печатных платах, производится съемной перемычкой, состоящей из гибкого монтажного провода, к концам которого припаяны гнезда ламповой октальной панельки (рис. 20, *г*).

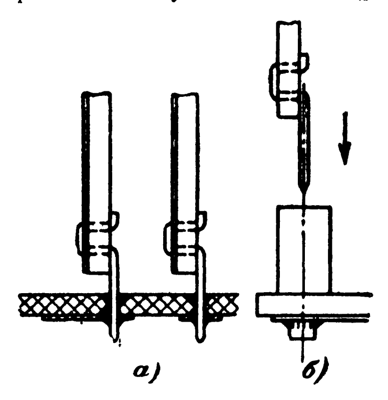


Рис. 23. Использование штыревых самодельных разъемов для постоянного или разъемного соединения двух печатных плат.

а — неразъемное соединение; *б* — разъемное.

Эти же ножки можно использовать как разъем, разместив их на плате аналогично расположению на ламповом октальном цоколе. Ответной частью для такого разъема будет служить октальная ламповая панелька.

Соединение печатной платы с кабелем можно осуществить самодельным разъемом. На печатной плате монтируют штыри из медной или латунной проволоки. Изготовление и монтаж контактных штырей показаны на рис. 21, *а* и *б*. Заготовка штыря показана на рис. 21, *в*.

Ответную часть разъема делают согласно рис. 22. Гнезда для

нее используют от ламповых панелек для 7 или 9-штырьковых пальчиковых радиоламп. Гнезда монтируют в колодке из изоляционного материала — оргстекла, гетинакса, текстолита и т. п.

При установке нескольких печатных плат небольших размеров на одной плате (модульная конструкция) также можно использовать для соединения указанные выше штыри (рис. 23).

Радиодетали, выполняемые методом печатных схем

Методом печатных схем могут быть выполнены такие радиодетали, как катушки индуктивности, конденсаторы постоянной и переменной емкости, переключатели и разъемы.

Катушки индуктивности можно выполнять индуктивностью не более 5 *мкгн*. В большинстве случаев катушки делают круглыми, но они могут быть и другой формы (рис. 24). Приближенный расчет индуктивности катушек (*мкгн*) можно производить по формуле

$$L = K\frac{(D_2 + D_1)^2 w^2}{D_2 - D_1}\cdot 10^{-3},$$

где w — число витков; D_2 — внешний диаметр катушки, *см*; D_1 — внутренний диаметр катушки; *см*; K — поправочный коэффициент (табл. 4).

Таблица 4

$\frac{D_2+D_1}{D_2-D_1}$	1,2	1,5	1,8	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0
K	3,3	3,0	2,7	2,6	2,1	1,6	1,2	1,0

Вычерчивание спиральных катушек производят защитной краской с помощью окружного пера, вставленного в ножку циркуля. Полуокружности чертят из двух центров, расположенных на расстоянии $1/2$ шага t. Из одного центра чертят верхние полуокружности, а из другого центра — нижние (рис. 25).

При квадратной катушке со сторонами внешнего и внутреннего квадратов, равными диаметром D_2 и D_1 круглой катушки, и при одинаковом шаге t индуктивность будет на 25% больше, чем у круглой катушки.

Максимальная добротность у катушки будет при $D_2=2D_1$. Добротность плоских катушек при толщине фольги 50 *мкм* может достигать $Q=130$ при частотах до 25 *мгц*.

Постоянные конденсаторы выполняются в виде параллельно расположенных печатных проводников. Для увеличения емкости печатные проводники соединяются в группы. Внешнее очертание такого конденсатора зависит от свободного, не занятого печатным монтажом места на печатной плате (см. рис. 24).

Расчет емкости печатного конденсатора сводится к определению длины зазора между обкладками и умножению его на емкость погонного сантиметра проводника. Емкость погонного сантиметра проводника при толщине фольги 50 *мкм* и расстоянии между проводниками 0,5 *мм* будет приблизительно 0,7 *пф* на 1 *см*, а при расстоянии 0,2 *мм* — 1,6 *пф* на 1 *см*.

Переменные конденсаторы. У переменных и полупеременных конденсаторов обычно печатной выполняется одна обкладка, вторая обкладка нанесена на керамическом диске из керамики с большой

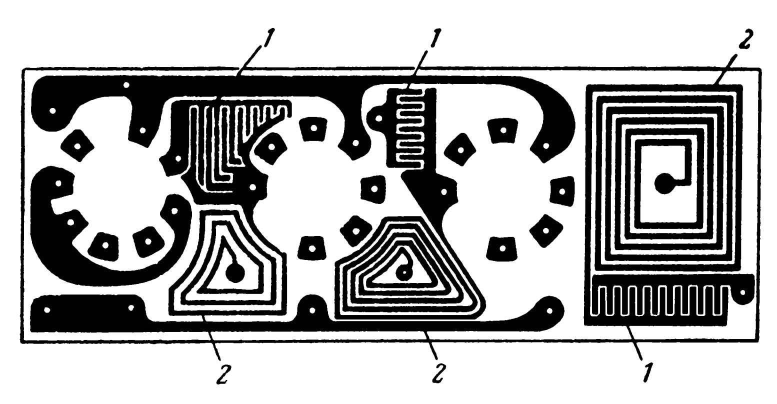


Рис. 24. Печатные катушки индуктивности (*2*) и конденсаторы (*1*).

диэлектрической постоянной. Конструкция такого конденсатора тождественна конструкции керамического подстроечного конденсатора. Подробно описан такой конденсатор на стр. 59.

Переключатели, выполняемые методом печатного монтажа, намного проще галетных переключателей и позволяют производить

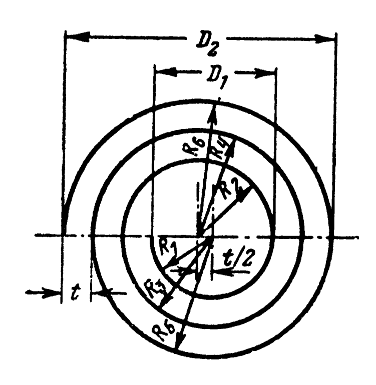


Рис. 25. Вычерчивание спиральных катушек индуктивности.

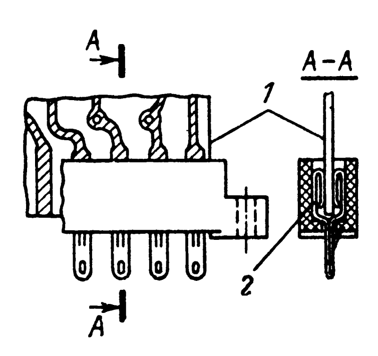


Рис. 26. Узел с печатным разъемом.

переключения по сложной схеме. Переключатели, изготовленные из фольгированного гетинакса, выдерживают большое количество переключений. Печатные переключатели в любительском исполнении приведены в описании приемников (см. рис 48 и 52).

Печатные разъемы представляют собой уширенные концы печатных проводников, выведенные к одной стороне платы *1* (рис 26), которая может заходить в ответную часть разъема, снабженного пружинными контактами *2*. Ответная часть может быть закреплена на неподвижном основании и на другой печатной плате, а также быть колодкой кабеля.

Макетирование

Печатная плата не позволяет в процессе наладки радиоустройства производить какие-либо схемные изменения, можно только в ограниченных пределах производить замену деталей на однотипные с другим номиналом. Для подстроечных деталей, которые заведомо будут заменяться при настройке и регулировке радиоустройства, ставят опорные стойки.

Поэтому, приступая к конструированию печатной платы, нужно быть уверенным, что выбранная вами схема хорошо работает при использовании тех деталей, которые имеет радиолюбитель. Для выяснения этого следует собрать макет и только после того, как он хорошо заработает, приступать к конструированию печатной платы. Для макетирования несложных транзисторных приемников можно использовать панель, состоящую из гетинаксовой платы, на которой по краям ее укреплены две шины из толого монтажного провода, к которым подается питание.

Более сложная универсальная монтажная плата позволяет макетировать сложные ламповые и полупроводниковые схемы. Эта плата изготовляется из органического стекла толщиной 3—4 *мм*, в которой по всей поверхности сверлятся отверстия диаметром 3,5 *мм* с шагом 12 *мм* и 1,5 *мм* с шагом 3 *мм*. В отверстия 1,5 *мм* пропускают выводы радиодеталей, а в отверстия 3,5 *мм* устанавливают в нужных местах винты, крепящие кронштейны со смонтированными на них громоздкими деталями — потенциометрами, ламповыми панелями, трансформаторами и т п.

Промежуточная схема. Прежде чем приступить к компоновке печатной платы, следует принципиальную схему радиоустройства перечертить так, чтобы она была нагляднее это облегчит компоновку. Для примера возьмем схему усилителя НЧ (рис. 27). Суть компоновки сводится к тому, чтобы радиоэлементы устройства, которые на принципиальной схеме вычерчены условно, вычертить так, как они будут смонтированы на плате. Те детали, которые имеют два вывода (резисторы, конденсаторы, диоды и т. п.), вычерчивают в виде двух точек между которыми пишут обозначение детали по принципиальной схеме. Транзисторы обозначают в виде трех точек и обозначают выводы (*Э*, *К*, *Б*). Трансформаторы, ламповые панельки и прочие детали с большим количеством выводов изображают со стороны выводов, а выводы нумеруют (рис. 28). При вычерчивании такой схемы (она соответствует так называемой полумонтажной схеме) соединительные провода следует проводить между выводами деталей. Промежуточная схема намного облегчит компоновку платы с печатным монтажом.

Перед компоновкой платы следует вычертить все детали (вид со стороны печатного монтажа), входящие в схему, в натуральную величину, а при компоновке миниатюрной и малогабаритной аппаратуры — в масштабе 2 : 1. Силуэты с помощью копировальной бумаги переводят на ватман или тонкий картон и вырезают ножницами; получаем аппликации деталей. На каждой аппликации надписывается обозначение детали согласно принципиальной схеме, а также указывается полярность (для диодов, электролитических конденсаторов

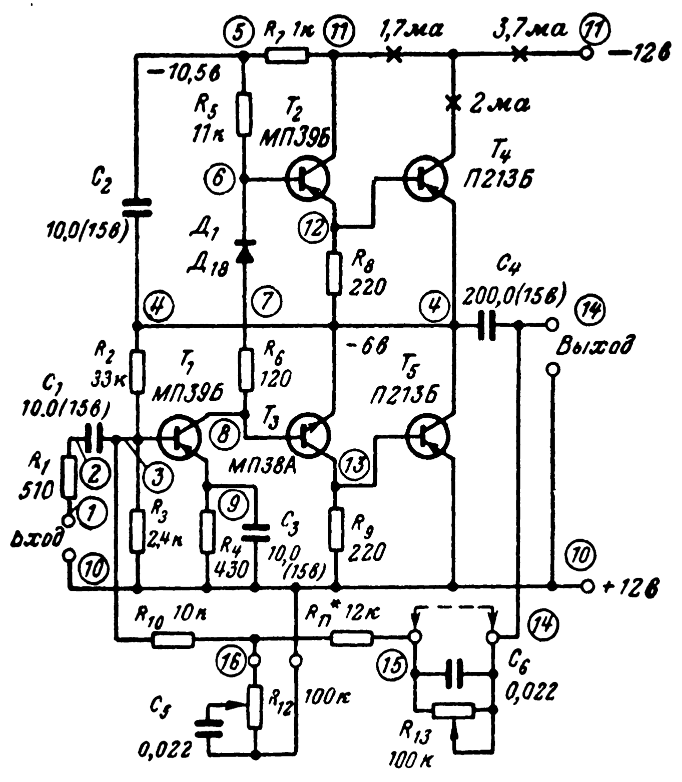


Рис. 27. Принципиальная схема бестрансформаторного УНЧ.

и т. п.), у транзисторов обозначаются выводы эмиттера, коллектора и базы. Транзисторы следует вычерчивать, учитывая, как они будут смонтированы на плате, в противном случае могут быть перепутаны выводы. На принципиальной и промежуточной схемах необходимо для облегчения компоновки пронумеровать точки соединения выводов радиодеталей (точки одинакового потенциала). Соответствующие номера вписывают в кружки (контактные площадки) деталей на аппликациях. На печатной плате это будет печатный проводник, общий для деталей, у которых один вывод имеет одинаковый номер.

Компоновка. Имея промежуточную схему и аппликации, можно приступать к компоновке печатной платы. Это самая ответственная часть конструирования; от удачного размещения деталей на плате зависит качество работы радиоустройства, его габариты, удобство ремонта и настройки и т. д.

При компоновке радиоустройства могут быть два положения. Во-первых, когда размер платы задан небольшим и надо в него уложиться, например, при конструировании транзисторных приемников, и, во-вторых, когда размер платы не имеет существенного значения,

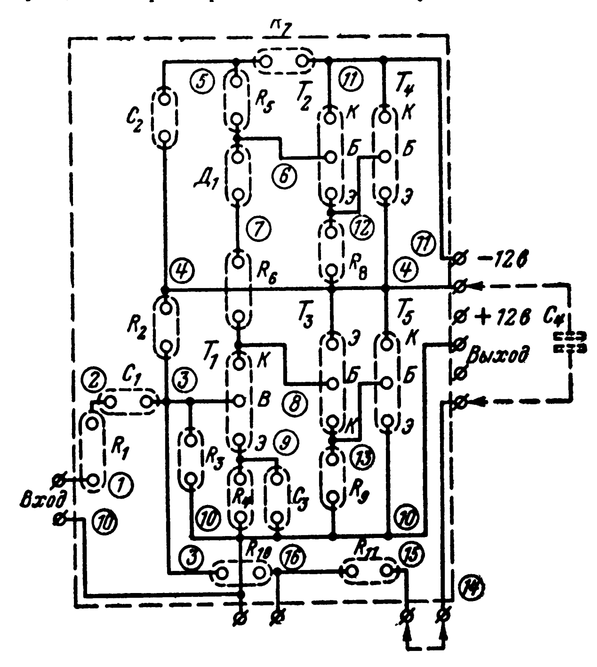


Рис. 28. Промежуточная схема УНЧ.

так как остальные узлы и детали имеют большие размеры. В качестве примера можно взять телевизор. Вследствие больших размеров и специфической конфигурации кинскопа можно, не выходя за размеры экрана кинескопа, разместить вокруг горловины его достаточно большие печатные платы.

По плотности монтажа платы делят на классы: класс А — платы с нормальной плотностью монтажа, класс Б — платы с повышенной плотностью монтажа.

Для упорядочения взаимного расположения деталей применяется координатная сетка, в узлах которой находятся центры всех отверстий (рис. 29). Для плат класса А применяют сетку с шагом 2,5 *мм*, а для плат класса Б допускается применение сетки с шагом 0,5 *мм*. Радиолюбители обычно применяют миллиметровку, т. е. координатную сетку с шагом 1 *мм*.

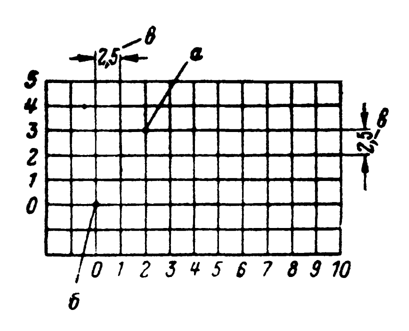


Рис. 29. Координатная сетка.

а — узел сетки; *б* — базовый узел сетки; *в* — шаг сетки.

Порядок компоновки платы следующий: вычерчивается тушью на пергаменте (чертежной прозрачной бумаге) координатная сетка с заданным шагом. Если размер и конфигурация платы заданы, то на сетке вычерчивается контур платы. Если размер платы не задан, то проводят две линии—горизонтальную и вертикальную из левого нижнего угла сетки. Эту точку принимают за начало координат и оцифровывают координатную сетку. На сетку укладывают аппликации ра-

Рис. 30. Предварительный вариант компоновки УНЧ.

диодеталей в положениях, соответствующих расположению деталей на промежуточной схеме (рис. 30). Если при этом детали не размещаются в пределах отведенного для них размера платы, то аппликации деталей поворачивают и смещают так, чтобы они уместились в пределах заданной площади. После этого контактные площадки с одинаковыми номерами выводов деталей соединяют между со-

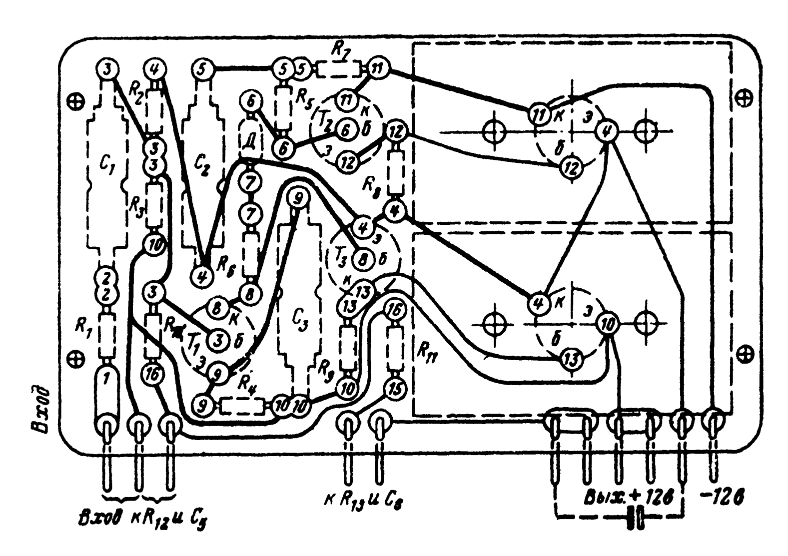


Рис. 31. Окончательный вариант компоновки УНЧ.

бой (рис. 31). Для того чтобы аппликации не сместились, их приклеивают резиновым клеем. Резиновый клей удобен тем, что аппликацию легко можно отклеить и перенести на новое место в случае, если она будет неправильно наклеена.

Когда компоновка выполнена и выбран наиболее удачный вариант ее, выполняется рабочий чертеж печатной платы. На листе бумаги с координатной сеткой обводится контур печатной платы, сетка нумеруется, на узлах сетки отмечаются монтажные отверстия, вокруг которых чертят контактные площадки, а также вычерчиваются остальные элементы печатной схемы (рис. 32).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Большинство промышленных способов изготовления плат с печатным монтажом требует сложного оборудования и дефицитных материалов. В радиолюбительских условиях технология изготовления

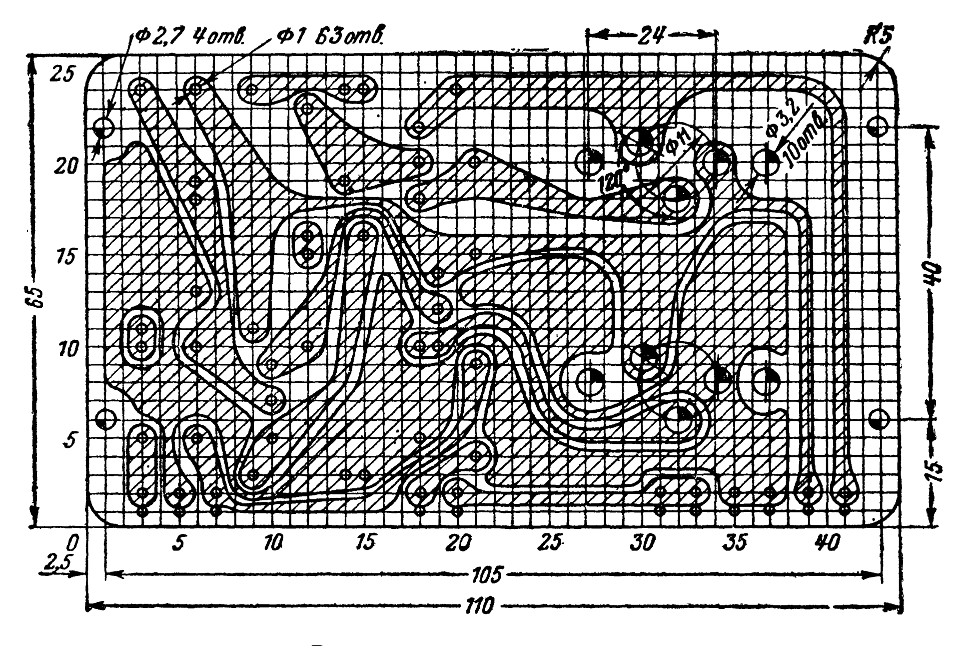


Рис. 32. Печатная плата УНЧ.

печатных плат может быть упрощена за счет введения ряда ручных операций. Ниже предлагаются три способа изготовления печатного монтажа и печатных схем. Сравнительно большое количество предложенных способов вызвано желанием предоставить радиолюбителю широкую возможность выбрать тот способ изготовления печатного монтажа, для осуществления которого у него имеются необходимые материалы и который больше всего ему подходит.

Способ переноса заключается в том, что проводники печатного монтажа, вырезанные из медной или латунной фольги и смонтированные на какой-либо временной подложке (например, бумаге), наклеиваются на диэлектрик, после чего подложка удаляется. Этот способ ценен тем, что печатные проводники можно наклеивать практически почти на любой плоский диэлектрик. Кроме того, он не требует сложной оснастки и дефицитных материалов. Его недостаток — сравнительно большая трудоемкость.

Химический способ состоит в том, что на фольгированный гетинакс тем или иным способом наносится рисунок печатного монтажа, после чего незащищенные места вытравляются. Этот способ менее трудоемок, но для него требуется реактив — хлорное железо, которое не всегда можно приобрести.

При механическом способе выполнения печатного монтажа на фольгированный гетинакс наносится рисунок монтажа, а затем фольга с пробельных мест удаляется ножом, резаком или фрезой. Этот способ самый простой, но требует от радиолюбителя ловкости и искусства. Только на первый взгляд кажется, что ножом легко вырезать схему, в действительности это не так.

Метод переноса

Для изготовления печатной платы по этому способу требуются: гетинакс толщиной от 1 до 2 *мм*, медная фольга толщиной 0,05 *мм*, клей БФ-2, клей конторский универсальный казеиновый (можно синдетикон), миллиметровка, пергамент, копировальная и писчая бумага. Из приспособлений требуются только две металлические пластины, между которыми зажимается плата при наклейке печатной схемы.

Под миллиметровку, на которой вычерчен в натуральную величину печатный монтаж, подкладывают последовательно: копировальную бумагу, кальку карандашную, фольгу и, наконец, какую-либо подложку, например несколько листов бумаги или картон. Все листы скрепляют по краям скрепками, после чего полученную пачку кладут на ровный металлический лист или стекло и остро заточенным твердым карандашом тщательно обводят контуры проводников печатного монтажа. После снятия скрепок мы получим пергамент, на котором будет виден четкий рисунок печатного монтажа; такой же рисунок будет и на фольге в виде рельефных линий.

Фольгу перед нанесением на нее рисунка надо обработать с одной стороны наждачной шкуркой для того, чтобы она лучше приклеивалась к гетинаксу. Для этого фольгу кладут на стекло и шлифуют мелкой шкуркой, при этом глянцевая поверхность становится шероховатой (матовой). При копировке фольгу кладут шероховатой стороной вниз.

По контурам печатного монтажа ножницами вырезают из фольги проводники и приклеивают их глянцевой стороной казеиновым

клеем к пергаменту (рис. 33). Для этой операции непригоден силикатный конторский клей: он не смачивает металл и поэтому не держится на медной фольге. Клей следует наносить тонким, равномерным слоем и следить при наклейке проводников на пергамент за точным совмещением контуров проводников с рисунком на пергаменте. Для точного размещения проводников относительно краев гетинаксовой платы на пергамент наклеивают центрирующую рамку. Наклейку схемы на гетинаксовую плату нужно производить немедленно после того, как проводники схемы смонтированы на пергаменте; если клей высохнет, проводники могут отделиться от пергамента.

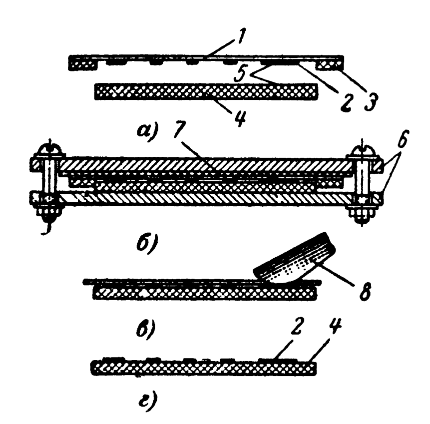


Рис. 33. Метод переноса (наклейка схемы на плату). *а* — наклейка схемы на временное основание (пергамент); *б* — приклеивание схемы к постоянному основанию; *в* — соскабливание временного основания при помощи скальпеля; *г* — готовая печатная плата; *1* — пергамент; *2* — печатные проводники; *3* — центрирующая рамка; *4* — гетинаксовая плата; *5*—матовые поверхности; *6*—металлические пластины; *7* — ватман; *8* — скальпель.

Плата должна быть обрезана так, чтобы она точно входила внутрь наклеенной на пергамент центрирующей рамки. Перед наклейкой проводников у гетинаксовой платы надо с помощью шкурки прошлифовать ту сторону, к которой будут приклеиваться проводники.

В случае расположения проводников с двух сторон платы (двусторонний печатный монтаж) такую же рамку с монтажом делают и для другой стороны и наклеивают проводники одновременно с двух сторон платы. В этом случае, естественно, шлифуют обе стороны гетинаксовой платы. Перед наклейкой необходимо проверить правильность взаимного расположения проводников на обеих смонтированных рамках с монтажом. Для этого оба пергаментных листка со смонтированным печатным монтажом складываются вместе так, чтобы были совмещены внутренние края центрирующих рамок. Проверяют расположение концов проводников в местах перехода проводников с одной стороны платы на другую (переход осуществляется металлическим пистоном, отрезком провода или выводом радиодетали). Такой сравнительно сложный технологический процесс необходим, так как прочно приклеить клеем БФ-2 провод к плате не удается, ибо клей недостаточно вязок и плохо удерживает проводники на гетинаксовой плате (они отклеиваются и смещаются), в то же время универсальный клей (казеиновый) достаточно прочно соединяет проводники с пергаментом. Необходимость такой сложной технологии вызвана еще тем, что затруднено нанесение рисунка печатных проводников на гетинаксовую плату. Если его нанести на плату через копировальную бумагу, то плата будет жирной и к ней провод-

ники плохо приклеятся, а при обезжиривании смывается рисунок, не говоря уже о том, что рисунок на гетинаксе получается малозаметным. Поэтому и необходима предварительная сборка печатного монтажа на пергаменте.

Вернемся к вопросу приклеивания проводников к гетинаксовой плате. Сразу же после монтажа проводников на пергаменте их, а также гетинаксовую плату обезжиривают ацетоном, спиртом, грушевой эссенцией или любым другим растворителем. После этого обе склеиваемые поверхности (проводники и гетинаксовая плата) покрывают тонким слоем клея БФ-2, которому дают подсохнуть в течение 10—20 *мин*. Затем на поверхность проводников при помощи кисточки вторично наносят слой клея и на смазанный клеем печатный монтаж кладут гетинаксовую плату шероховатой стороной вниз. Весь пакет зажимают между двумя металлическими пластинами, которые стягивают винтами и выдерживают в таком виде в течение часа при комнатной температуре. После этого пакет нагревают до 120° С и выдерживают при этой температуре 3 *ч*. Если печатная плата небольшая (плата для карманного приемника на транзисторах), то нагревать ее можно с помощью утюга, прикрепив пакет к его подошве. При этом надо следить за нагревом утюга, периодически выключая его, чтобы он не перегрелся. Особенно удобен для этой цели утюг с терморегулятором.

После остывания пакет разбирают и с платы острым скальпелем или ножом соскабливают приклеенный к плате пергамент — подложку. Для облегчения работы пергамент надо увлажнять горячей водой. Когда весь пергамент будет соскоблен с платы, последнюю шлифуют мелкой шкуркой и промывают растворителем. В плате сверлят отверстия для крепления деталей (см. ниже). Необходимо следить за тем, чтобы отверстия, как правило, проходили через центры контактных площадок.

Химический способ

Химический способ состоит в том, что на фольгированный гетинакс наносится рисунок печатных проводников кислотоупорным лаком или наклейкой полосок из липкой ленты, которые защищают от травящего раствора те места фольги, которые должны остаться на плате.

Для изготовления любительских плат с печатным монтажом больше всего подходит заводской фольгированный гетинакс марки ГФ-1 (для односторонних печатных плат) и ГФ-2 (для двусторонних). В случае отсутствия заводского фольгированного гетинакса он может быть изготовлен самими радиолюбителями (см. стр. 52).

Радиолюбительский химический способ изготовления печатного монтажа имеет несколько разновидностей, отличающихся методом нанесения изображения печатного монтажа на фольгированную заготовку. За исключением этих операций все остальные одинаковы.

Нанесение рисунка печатного монтажа может быть: а — ручным (рисовальным) с помощью кисточки и рейсфедера; б — с использованием клейкой ленты; в — краской через трафарет. Два первых способа пригодны для изготовления единичных плат, а третий способ в том случае, когда надо изготовить партию одинаковых плат, например, в радиокружке или радиоклубе.

Рассмотрим радиолюбительский химический способ ручного нанесения рисунка (метод «а»).

При помощи копировальной бумаги рисунок монтажа переносят на фольгированный гетинакс со стороны фольги.

В местах, где должны быть отверстия, набивают керном углубления (рис. 34, *а*), после чего миллиметровку и копировальную бумагу удаляют. Места фольги, которые должны оставаться на плате, закрашивают нитролаком, цапонлаком, асфальтобитумным или каким-либо другим лаком. Сначала на все набитые керном углубления ставят лаком точки, проще всего это делать спичкой, обмакнув ее конец в лак. Нужно следить за тем, чтобы углубление, набитое керном, было в центре точки. Диаметр точки должен быть 2,5—3 *мм*

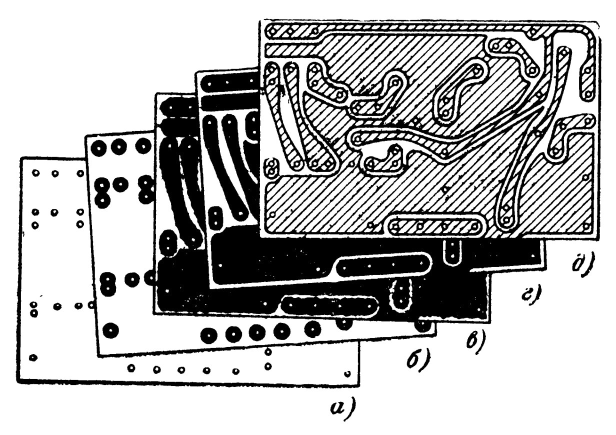


Рис. 34. Химический метод.

а — кернение; *б* — нанесение точек; *в* — рисунок печатных проводников; *г* — то же отретушированный; *д*—вытравленная плата.

(рис. 34, *б*). Когда все точки поставлены, их соединяют лаком между собой согласно схеме. Соединительные линии проводят с помощью кисточек № 2 или 3; прямые линии можно выполнить рейсфедером (рис. 34, *в*).

После высыхания лака плату ретушируют, т. е. подправляют рисунок скальпелем, лезвием безопасной бритвы или специальным скребком, используемым при ретуши фотографий (рис. 34, *г*).

Отретушированную плату подвергают травлению, для чего ее помещают в фарфоровую или пластмассовую фотографическую ванночку с раствором хлорного железа ($FeCl_3$) плотностью 1,3 (для получения такого раствора в стакан емкостью 200 *см*^{3} кладут 150 *г* хлорного железа и заливают его до краев водой), ванночку энергично и непрерывно покачивают, через каждые 5 *мин* плату осторожно протирают ватным томпоном, который удерживают пинцетом (делается это для удаления продуктов реакции с пробельных участков платы, которые замедляют процесс травления). Схема полностью вытравливается за 40—50 *мин.* Если раствор хлорного железа подогреть до 40° С, то плата вытравится за 10 *мин.*

С вытравленной платы смывают растворителем лак, хорошо ее промывают несколько раз попеременно холодной и горячей водой,

сушат и в местах, набитых керном, сверлят в плате отверстия для выводов радиодеталей (рис. 34, *д*).

Описанный выше способ чаще всего применяется радиолюбителями. При этом способе требуется большая аккуратность при рисовании схемы на заготовке; при несоблюдении этого печатный монтаж получается некрасивым, печатные проводники и контактные площадки неровными, с рваными краями.

Более красивым получается печатный монтаж при нанесении рисунка липкой лентой.

Выполнение рисунка печатного монтажа липкой лентой

Этот метод состоит в том, что рисунок печатного монтажа наносится на фольгированный гетинакс путем наклейки кружков и полосок, вырезанных из липкой полихлорвиниловой изоляционной ленты (синей). Перед наклейкой надо заготовить полоски и кружки, выполняется это так: на мотке изоляционной ленты нужно сделать надрез глубиной 1,5—2 *мм* (рис. 35, *а*), затем отделить от круга несколько слоев ленты, далее острым ножом по линейке вырезать

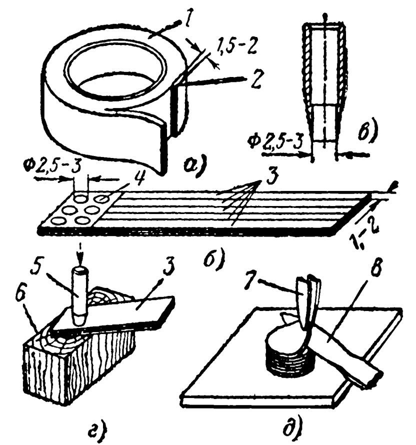


Рис. 35. Заготовка кружков и полосок из липкой ленты.

а — моток ленты с надрезом; *б*—нарезанные полоски и кружки; *в* — высечка; *г* — вырубка кружков; *д* — отделение одного кружка от пачки; *1* — липкая лента; *2* — надрез; *3* — нарезанные полоски; *4* — кружки; *5*—высечка; *6* — деревянный брусок; *7* — пинцет; *8* — скальпель.

полоски, а высечкой вырубить кружки (рис. 35, *б*). Ширина полосок и диаметр кружков делаются в соответствии с чертежом печатного монтажа, обычно полоски шириной 1—2 *мм*, а кружки диаметром 2,5—3 *мм*.

Высечку лучше всего выточить из стали и закалить (рис. 35, *в*). Но можно ее сделать и из стальной, латунной или дюралевой трубки с подходящим внутренним диаметром, запилив напильником режущую часть ее. Такая высечка будет быстро тупиться и требовать частой заточки, но это не страшно, так как для печатного монтажа требуется немного кружков. Вырубать кружки надо на торце деревянного брусочка (рис. 35, *г*). В результате вырубки мы будем иметь стопку лежащих друг на друге кружков.

Подготовив детали из липкой ленты, можно приступать к изготовлению печатной платы. Дальнейшие операции следующие: заготовка из фольгированного гетинакса обезжиривается (промывается каким-либо растворителем) и хорошо просушивается, на заготовку кладется миллиметровка с чертежом печатного монтажа и через миллиметровку на заготовке набиваются керном углубления в мес-

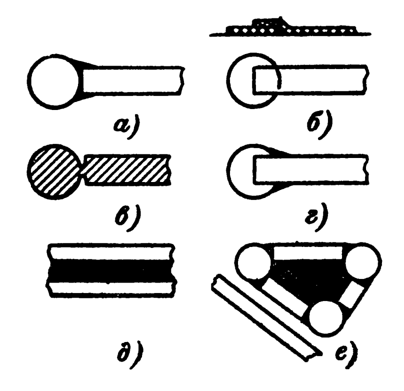


Рис. 36. Выполнение рисунка печатного монтажа липкой лентой.

а — стык кружка с полоской (первый вариант); *б* — стык кружка с полоской (второй вариант); *в* — вытравленный печатный проводник при стыке по варианту *б*; *г* — закраска стыка; *д* — прямой проводник; *е* — покрытие больших площадей.

тах, где должны быть отверстия, после чего миллиметровка удаляется. Далее из стопки кружков липкой ленты отделяется с помощью скальпеля и пинцета один кружок (рис. 35, *д*) и наклеивается на уг-

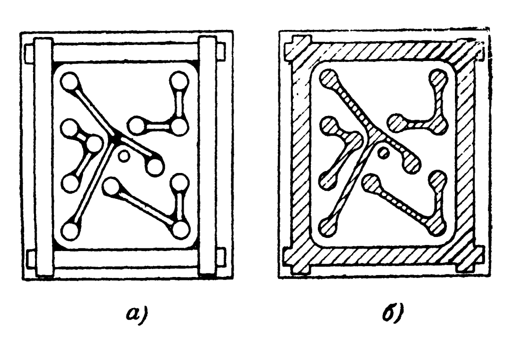


Рис. 37. Плата, подготовленная к травлению (*а*), и вытравленная (*б*).

лубление, набитое керном, так, чтобы это углубление было точно в центре кружка. После наклейки всех кружков наклеивают липкие полоски, соединяя между собой контактные площадки (кружки), согласно чертежу печатной платы, вычерченной на миллиметровке. При этом надо придерживаться следующих правил: не касаться руками клеящей поверхности полоски, при наклейке не растягивать ленту, а укладывать ее без дополнительных продольных усилий; изгибы проводников делать возможно большего радиуса; соединения полосок с

кружками делать, как показано на рис. 36, *а*, т. е. встык, и закрашивать промежуток между кружком и полоской кислотоупорной краской. Если соединение делать внакладку (рис. 36, *б*), что кажется более простым, то при травлении травящий раствор попадет между полоской и кружком и после травления концы полосок подтравятся и будут иметь вид, показанный на рис. 36, *в*. Следовательно, такое соединение, не давая никакого выигрыша в смысле простоты изготовления, все равно требует закраски мест стыка кружка и полоски (рис 36, *г*).

Если требуется провести проводник шире, чем имеющиеся в наличии полоски клейкой ленты, наклеивают параллельно две полоски, а пространство между ними закрашивают (рис. 36, *д*). Так же поступают, когда нужно оставить на печатной плате большую площадь фольги. В этом случае полоски липкой ленты наклеивают по периметру площадки, а пространство между ними закрашивают (рис. 36, *е*). На рис. 37, *а* показана плата, подготовленная вышеуказанным методом к травлению, а на рис. 37, *б* — готовая печатная плата, выполненная этим способом.

Нанесение рисунка печатного монтажа через трафарет

Иногда необходимо изготовить большее количество печатных плат; например, для электромузыкальных инструментов требуются десятки одинаковых плат с печатным монтажом. В этом случае нецелесообразно рисовать печатный монтаж вручную. Для ускорения работы следует изготовить трафарет и через него наносить рисунок на фольгированный гетинакс.

Трафарет можно изготовить из плотной бумаги или тонкого картона, а также из металла. Особенно подходит тонкий плотный картон от переплетов каталогов и проспектов.

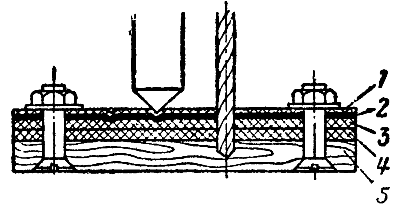


Рис. 38. Изготовление шаблона (первая операция).

Помимо трафарета, необходимо изготовить кондуктор для сверления отверстий. Изготовляется все это следующим образом: под миллиметровку *1* с начерченным на ней печатным монтажом подкладываются последовательно (рис. 38) копировальная бумага *2* (пишущим слоем вниз), заготовка трафарета *3*, целлулоидная пластина *4* толщиной 1 *мм* и фанерная дощечка *5*. Собранный таким образом пакет скрепляют по углам винтиками, используя крепежные отверстия печатной платы. Далее керном намечаются центры отверстий в контактных площадках. Сверлить отверстия в намеченных местах следует на сверлильном станке. Если сверлить придется ручной или электрической дрелью то следует следить за тем, чтобы сверло стояло точно перпендикулярно к пакету. Если просверлить отверстия с отклонением от вертикали, то в дальнейшем при использовании целлулоидного кондуктора отверстия для крепления радиодеталей могут

быть значительно смещены и не будут находиться в центре контактных площадок.

Следующая операция — вырезание отверстий в трафарете. Последовательность ее такова. сначала с помощью высечки (рис. 35, *в*) на торце деревянного брусочка вырубаем отверстия диаметром 3 *мм* для контактных площадок (рис. 39, *а*), затем острым ножом или скальпелем вырезаем отверстия для соединительных проводников (рис. 39, *б*) печатного монтажа При вырезании этих отверстий в тех местах, где эти проводники длинные или несколько проводников расположены параллельно, следует оставлять технологические перемычки, которые сделают трафарет жестче и не позволят проводникам смещаться друг относительно друга. Когда трафарет изготовлен, его надо лакировать для того, чтобы он не впитывал в себя краску и не деформировался. Лакировать можно клеем БФ-2, покрывать нужно обе стороны трафарета. После высыхания клея (через сутки) трафарет зажимают между двумя металлическими пластинами, предварительно проложив между трафаретом и пластинами листки бумаги или бумажной кальки. Весь пакет нагревают до 120° С и выдерживают при этой температуре 3 *ч*. Для нагрева можно использовать электрический утюг.

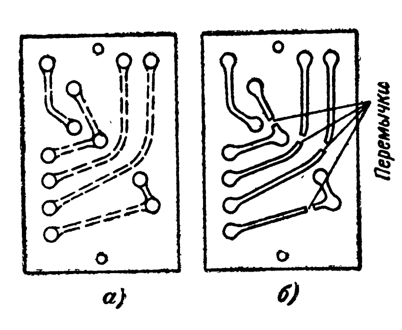


Рис. 39. Вырезание отверстий в трафаретах.

а — высечка отверстий для контактных площадок; *б* — вырезание отверстий для печатных проводников.

Для нанесения рисунка печатного монтажа на заготовку в ней сверлят крепежные отверстия и винтами прикрепляют трафарет со стороны фольги Если печатный монтаж двусторонний, то применяют двусторонний фольгированный гетинакс и трафареты закрепляют с двух сторон. При установке трафаретов, особенно при двустороннем монтаже, нужно быть внимательным и правильно их положить на заготовку. При неправильной установке монтажные отверстия одной стороны печатного монтажа не совпадут с отверстиями на другой стороне платы и плата пойдет в брак.

Для того чтобы не ошибиться при установке трафаретов, следует поставить на шаблонах краской метки.

Наносить рисунок печатного монтажа можно или кистью, или пульверизатором. В первом случае нитролак или цапонлак не разбавляется и наносится жесткой щетинной кисточкой. Движения кисти должны быть перпендикулярны плоскости заготовки. Недопустимо движение кисти вдоль плоскости заготовки, так как в этом случае краска попадает под трафарет и местами изображения проводников сольются. Исправить такой рисунок на заготовке можно только ретушью, но это процесс трудоемкий.

При закраске печатного монтажа с помощью пульверизатора лак следует разбавить соответствующим растворителем. Степень разбавления определяется опытным путем. Растворитель следует добавлять

небольшими порциями, после каждой добавки проверяя, распыляется ли лак пульверизатором. Как только лак начнет хорошо проходить через пульверизатор и нормально распыляться, растворителя больше добавлять не следует, потому что очень жидкий лак может затекать под трафарет.

Пульверизаторы можно применять с резиновой грушей или простые, в которых распыление происходит за счет воздуха, вдуваемого ртом. Разница между ними та, что пульверизаторы с резиновой грушей требуют более жидкого лака, но зато более удобны в работе.

Лак, применяемый как при закраске кистью, так и пульверизатором, должен быть цветным. При применении бесцветного лака в него надо добавлять краситель. Бесцветный или слабоокрашенный лак не позволит заметить и устранить дефекты рисунка печатного монтажа.

В последнее время в продаже появился нитролак в аэрозольной упаковке. Это небольшой металлический баллончик, в котором лак находится под давлением. При нажиме на кнопку из сопла вытекает струя распыленного лака. При использовании аэрозольной упаковки отпадает необходимость в пульверизаторе.

Прежде чем закрашивать заготовку, надо, наложив трафарет на кусок картона, попробовать, как распыляется лак, какова его плотность, и подобрать оптимальное расстояние от пульверизатора до шаблона, при котором лак хорошо покрывает заготовку, не подтекая под шаблон.

Заключительной операцией является закраска вручную кисточкой или с помощью трафарета тех мест на плате, которые были закрыты технологическими перемычками.

После травления платы отверстия под навесные радиодетали сверлятся по целлулоидному кондуктору.

Способ изготовления печатного монтажа путем механического удаления фольги с пробельных участков

Существуют две разновидности этого способа изготовления печатных плат. Первый способ — удаление фольги с пробельных мест путем фрезеровки, а второй — срезание и соскабливание фольги ножом или резаком

Способ фрезерования. Сущность этого метода состоит в том, что на фольгированный гетинакс наносят рисунок печатного монтажа. Печатный монтаж должен быть спроектирован с узкими пробельными участками. Ширина их должна равняться диаметру бора.

Металлическая фольга с пробельных мест удаляется фрезой (зубным бором), закрепленной в патроне, сидящем на оси электромотора. На рис. 40 показано изготовление печатного монтажа этим способом. При снятии фольги (бором) необходимо, чтобы послед-

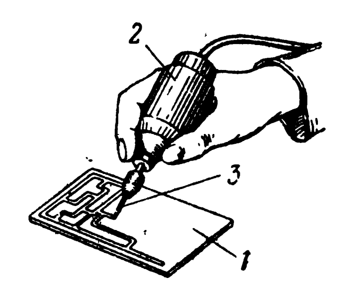


Рис. 40. Изготовление печатной платы методом гравировки.

1 — печатная плата; 2 — электромотор; 3 — фреза (бор).

ния была острой, при тупой фрезе у фольги будут рваные края. Даже при острой фрезе фольга с одной стороны пробельного участка будет неровной, для подравнивания этого края необходимо повторить обработку этой кромки фрезой в обратном направлении.

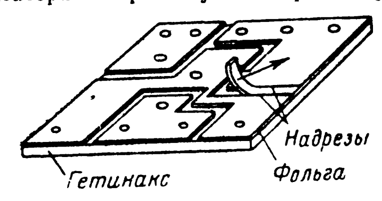


Рис. 41. Изготовление печатной платы путем срезания и отслаивания фольги.

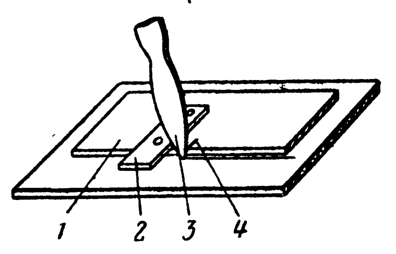


Рис. 42. Линейка с упором для надрезания фольги.

1 — линейка; 2 — упор; 3 — нож; 4 — риска.

После фрезерования плата шлифуется мелкой шкуркой, сверлятся отверстия и она обрезается.

Способ срезания фольги. Это, пожалуй, самый простой способ получения печатного монтажа, он не требует почти никакой оснастки. Из материалов требуется только фольгированный гетинакс.

Как и в вышеописанном способе, на плату наносится рисунок печатного монтажа, затем по контуру пробельных участков острым ножом по линейке прорезается фольга. Затем край фольги отделяется с помощью ножа от гетинакса и отрывается вдоль разрезов, сделанных на пробельных участках (рис. 41).

При выполнении прорезей в фольге нож иногда срывается и прорезает схему, для того чтобы избежать этого, на линейку, которой пользуются при прорезании фольги, устанавливается металлический ограничитель (рис. 42). На линейке наносится черточка, показывающая, до какого места доходит режущий конец ножа, когда последний упирается в ограничитель. При работе с такой линейкой ее кладут так, чтобы риска показывала конец разреза, который делается в фольге. На рис. 41 показана плата с печатным монтажом, выполненная этим способом.

О дальнейшей обработке платы см. ниже.

Обработка печатных плат

Первоначально заготовки печатных плат нарезают немного большего размера, приблизительно на 20 *мм*, чем они должны быть в чистом виде. Разрезают заготовки с помощью резака по линейке. Сначала с обеих сторон заготовки подрезают на 1/4 толщины, а затем по надрезу разламывают. Окончательную обрезку плат делают после того, как на плате сделан печатный монтаж. Исключение составляет только способ переноса, при этом способе заготовку надо сразу делать нужного размера, так как она должна входить в центрирующую рамку (см. стр. 40).

Чистовую обрезку плат делают так: сначала на плате с помощью чертежного угольника и чертилки проводят риски, ограничивающие размер платы, затем плату зажимают между двумя металлическими угольниками так, чтобы риска шла по их краю (рис. 43), и лобзиковой пилкой по краю угольника плату обрезают, а затем зачищают плоским надфилем. Так плата обрезается со всех четырех сторон. При обрезке необходимо следить за тем, чтобы печатные проводники не были вровень с краем платы, а отступали бы от него не менее 1 *мм*.

Сверление отверстий. Отверстия для установки навесных деталей сверлятся, как правило, после окончательного изготовления платы с печатным монтажом. Исключение составляют платы с двусторонним печатным монтажом, выполняемые радиолюбителями химическим методом.

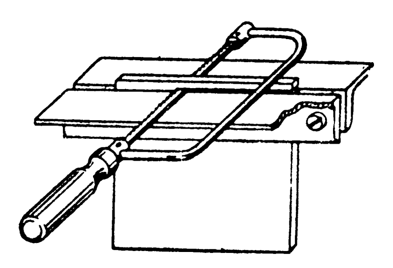


Рис. 43. Чистовое обрезание печатных плат.

Отверстия сверлят с металлизированной стороны. В радиолюбительских условиях для удобства все монтажные отверстия сверлят диаметром 1 *мм*. Отверстия следует сверлить только острыми сверлами, при тупых сверлах материал вокруг отверстия вспучивается и металлизация может отойти от изоляционной платы. При пользовании обычными сверлами их следует затачивать после сверления 25 отверстий в гетинаксе или 15 отверстий в стеклотекстолите. При сверлах из стали ВК-8 можно сверлить до 300 отверстий, после чего сверло затачивать. Для того чтобы не прерывать работу для заточки сверл, целесообразно иметь небольшой запас заточенных сверл.

Угол заточки сверл должен быть: для сверл из быстрорежущей стали 60—70°, а для сверл из стали ВК-8 — 40—45°. Сверлить отверстия следует на быстроходном сверлильном станке со скоростью вращения сверла 5 000 *об/мин* и выше. Такой станочек нетрудно изготовить радиолюбителю (см. стр. 40). Можно сверлить отверстия и ручной дрелью, но при этом качество отверстий будет низким.

Отверстия для крепления платы, а также для крепления крупных деталей на плате сверлят дрелью по разметке. Большие отверстия, например для динамика, лучше всего выпилить лобзиком и зачистить личным полукруглым напильником.

Лакировка плат с печатным монтажом. Печатная плата после обрезки и сверловки отверстий протирается ватным или матерчатым тампоном с пемзовым порошком или пастой, содержащей пемзу (порошки и пасты для чистки алюминиевой и эмалированной посуды, которые продаются в хозяйственных магазинах). После чистки платы промывают теплой водой, а затем протирают спиртом и сушат. После сушки платы необходимо сразу же покрыть ее защитным флюсующим лаком (15%-ным раствором канифоли в спирте) для защиты проводников от коррозии и облегчения пайки навесных деталей. Можно для этой цели воспользоваться канифольным спиртовым лаком (продается в магазине хозяйственных товаров). Хорошим защитным лаком является 15%-ный раствор смолы ПН-9 в ацетоне.

Пайка навесных радиодеталей. При радиолюбительском изготовлении конструкций с печатным монтажом, когда делают платы в количестве нескольких штук, нецелесообразно организовывать групповую пайку, а следует с помощью паяльника припаивать выводы деталей к контактной площадке.

Паяльник для пайки навесных радиодеталей к печатному монтажу должен быть небольшой мощности (25—50 *вт*) и иметь тонкую и длинную рабочую часть, для того чтобы нельзя было перегреть печатный проводник при пайке. При сильном и длительном нагреве монтажной площадки проводник может отделиться от подложки.

Существует много конструкций паяльников, пригодных для пайки деталей на печатных платах. Различают два принципиально отличных типа паяльников: с нагревательной обмоткой и трансформаторные (импульсные). Паяльники первого типа бывают неразборные (марка ЭТ-П) и разборные. Неразборные имеют нагревательную обмотку, намотанную на заводе. При перегорании такого паяльника его обмотку приходится перематывать, что представляет определенные трудности (сравнительно сложное выполнение намотки элемента, отсутствие у радиолюбителя необходимых материалов).

Несколько лет назад появились в продаже разборные паяльники марки ЭПКС со сменным нагревательным элементом. В комплект паяльника входит запасная нагревательная спираль. Кроме того, в продаже имеются для этого паяльника сменные нагревательные элементы. Такой паяльник долговечен, так как заменить нагревательную спираль или элемент очень просто, для этого нужна только отвертка.

Импульсный паяльник представляет собой понижающий сетевой трансформатор, у которого вторичная обмотка выполнена в виде двух витков из толстого медного провода или шины. К вторичной обмотке подключена петля из медного провода диаметром 1,5 *мм*, которая и является рабочим нагревательным элементом. При включении первичной обмотки в сеть проволочная петля нагревается до нужной температуры. Включение паяльника производится кнопкой, укрепленной на трансформаторе. Через 5 *сек* после нажатия кнопки можно начинать пайку, одновременно при нажатии кнопки зажигается электрическая лампочка, освещающая место пайки. Благодаря малой массе рабочей части паяльника он особенно подходит для пайки деталей на печатных платах. Сравнительно большой вес этого паяльника (типа «Момент»), по сравнению с весом паяльников других типов, не затрудняет работу благодаря удобной рукоятке и правильному расположению ее относительно центра тяжести трансформатора.

Паяльник этого типа особенно удобен в радиолюбительских условиях, так как он потребляет электроэнергию (50 *вт*) только в момент пайки, все остальное время он выключен. Это, кроме соображений экономии электроэнергии, ценно еще из соображений пожарной безопасности, паяльник нельзя оставить включенным на рабочем месте.

У маломощных (50 *вт*) паяльников с нагревательной обмоткой (типов ЭТ-П и ЭПКС) диаметр рабочей части (жала) обычно 6 *мм*. Для того чтобы облегчить пайку деталей к печатным проводникам, а также не перегревать их, следует жало паяльника обточить или спилить до диаметра 3 *мм* по длине не менее 25 *мм* (рис. 44, *а* и *б*) или же надеть на жало насадку из медной проволоки диаметром 2 *мм* (рис. 44, *в*). Конец паяльника (жало) следует запилить, как показано на рис. 44, *г*.

Выводы навесных элементов следует перед установкой на печатной плате облудить. При пайке и облуживании выводов полупроводниковых приборов (диоды, транзисторы и т. п.) необходимо применять теплоотвод между корпусом прибора и местом пайки или лужения. В качестве теплоотвода можно использовать обычный пинцет или плоскогубцы, но лучше сделать специальный пинцет из меди (см. рис. 45, *а*). Такой пинцет состоит из медных губок *1* и стальных пружин *2*, склепанных между собой, как указано на рисунке. Для лучшего теплового контакта губок пинцета с выводом радиоэлемента в губке делаются насечки. Для этого пинцет кладут на наковальню,

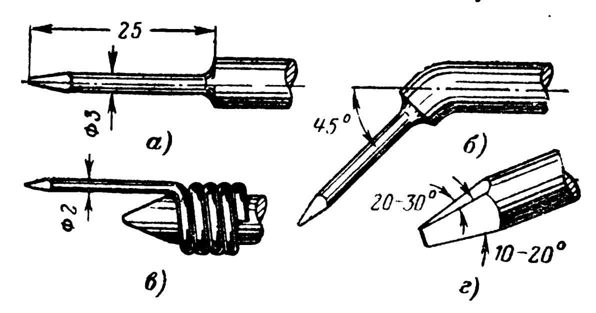


Рис. 44. Жало паяльников.

а — прямое утоньшенное; *б* — угловое утоньшенное, *в* — проволочная насадка; *г* — заточка жала.

а между губками зажимают стальную проволоку (швейную иголку) диаметром 0,5—0,6 *мм* и сверху ударяют молотком. Таким способом делают пять-шесть параллельных насечек (рис. 45, *б*).

Установка навесных радиоэлементов зависит от того, каким способом выполнена печатная плата. При электрохимическом и комбинированном способах отверстия для выводов навесных радиоэлементов металлизированы. При других способах выполнения печатных плат в отверстия иногда ставят металлические пистоны. Во всех этих случаях детали можно запаивать, как показано на рис. 14, *д*, так как в этом случае вывод радиодетали, впаянный в отверстие, не может перемещаться. Во всех остальных случаях, когда отверстия неметаллизированные, обязательно монтировать выводы деталей так, чтобы их выводы не могли перемещаться в отверстии (потому что в противном случае при нажиме на деталь могут оторваться печатные проводники).

Выводы навесных деталей должны выступать со стороны печатного монтажа приблизительно на 1,5 *мм*. Эти выводы можно загнуть с помощью деревянной палочки в сторону продолжения печатного проводника.

В тех случаях, когда можно предположить, что радиодеталь надо будет выпаивать, выводы ее не следует загибать.

Паять следует чистым, хорошо залуженным паяльником, конец которого (жало) запиливают по форме четырехгранной пирамиды (рис. 44). Припоя надо набирать на конец паяльника немного, пайку производить быстро (не более 3 *сек*) и осторожно, чтобы не повредить печатный проводник. Не следует в месте пайки оставлять боль-

шие наплывы припоя, при правильной пайке проводник (вывод радиодетали) должен «просматриваться» через слой припоя.

При пайке надо пользоваться бескислотным флюсом (раствором канифоли в спирте).

Последовательность операций при установке и пайке радиодеталей следующая: радиодетали устанавливают на печатной плате, их выводы обрезают кусачками и, если надо, загибают. После установки деталей места пайки промазывают флюсом, который должен сох-

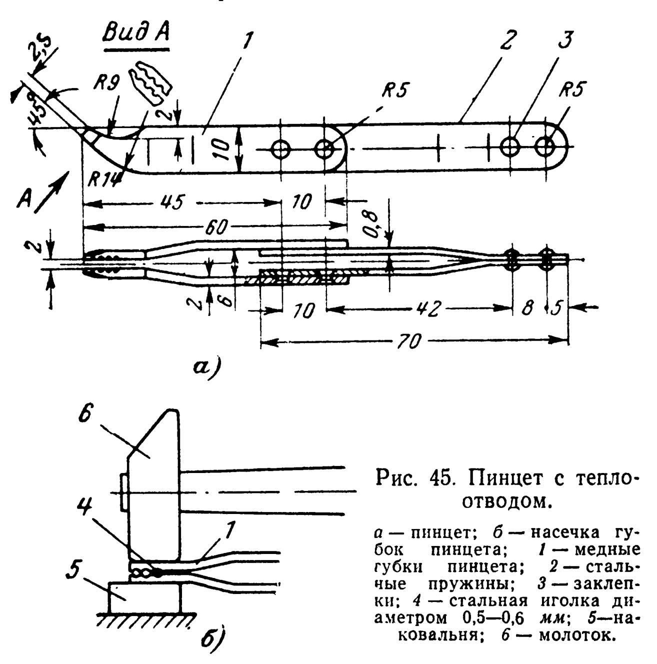


Рис. 45. Пинцет с теплоотводом.

а — пинцет; *б* — насечка губок пинцета; *1* — медные губки пинцета; *2* — стальные пружины; *3* — заклепки; *4* — стальная иголка диаметром 0,5—0,6 *мм*; *5*—наковальня; *6* — молоток.

нуть 2—3 *мин*, после чего пропаивают все выводы, пользуясь теплоотводом при пайке полупроводниковых приборов.

Пайку чаще всего производят оловянно-свинцовым припоем ПОС-61, температура плавления которого сравнительно невысока — 185° С. У припоев с большим содержанием свинца температура плавления выше, например, у ПОС-40 температура плавления равна 210° С, а у ПОС-18 — 250° С. Для пайки выводов полупроводниковых радиодеталей (диодов, транзисторов и т. п.) можно применять припои с низкой температурой плавления, например ПОСК-50 (олово 50%, свинец 32% и кадмий 18%), температура плавления которого 145° С, или ПОСВ-33 (олово 33,4%, свинец 33,3% и висмут 33,4%) с температурой плавления 130° С.

Если фольгированный гетинакс, а также хлорное железо радиолюбитель не сможет приобрести, то их можно изготовить самому.

Изготовление фольгированного гетинакса. Фольгированный гетинакс можно изготовить из обыкновенного гетинакса и фольги сле-

дующим образом. Одну сторону гетинакса, а также фольги при помощи мелкой шкурки делают шероховатой (фольгу при этом надо положить на стекло), затем обезжиривают (промывают спиртом, ацетоном или эфиром), хорошо просушивают и смазывают фольгу, а также гетинакс тонким слоем клея БФ-2 и высушивают на воздухе (приблизительно 10 *мин*), после чего наносят второй слой клея и прикладывают фольгу к гетинаксу, следя за тем, чтобы между фольгой и гетинаксом не было воздушных пузырьков. Гетинакс с приклеенной фольгой зажимают между двумя металлическими пластинами. При этом между фольгой и металлической пластиной надо проложить два-три листочка ватмана. В качестве зажима можно использовать струбцины или винты, для которых по краям металлических пластин сверлят отверстия. Собранный таким образом пакет выдерживают сначала в течение 1 *ч* при комнатной температуре, а затем в течение 1,5—2 *ч* при температуре 100—150° С. Если размер заготовки небольшой, то нагревать можно, прижав пакет к подошве утюга с терморегулятором. Если же площадь заготовки велика, то собранный пакет кладется горизонтально, так чтобы пластина, к которой прижата фольга, была сверху, и на него ставится горячий утюг. После выдержки при высокой температуре пакету дают остыть до комнатной температуры и после этого вынимают фольгированный гетинакс. Если разобрать неостывший пакет, то фольгированный гетинакс может сильно покоробиться.

Приготовление хлорного железа[1]. Для приготовления хлорного железа в домашних условиях нужно иметь соляную кислоту с концентрацией около 9% (приобретается в магазине хозяйственных товаров) и мелкие железные опилки.

Чтобы получить раствор хлорного железа нужной концентрации, на 25 частей кислоты берется одна часть железных опилок (по объему).

Опилки засыпают в открытый сосуд с кислотой и оставляют на несколько дней. По окончании реакции получается светло-зеленый раствор, который, постояв еще несколько дней, становится желто-бурым. Это и будет водный раствор хлорного железа.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ С ПЕЧАТНЫМИ СХЕМАМИ

Ниже приводятся краткие описания радиолюбительских конструкций, которые знакомят с практическим исполнением радиолюбительской аппаратуры на печатных схемах.

Малогабаритный приемник с фиксированными настройками

Приемник предназначен для приема трех местных радиовещательных станций на телефон от слухового аппарата.

Схема приемника приведена на рис. 46. Это приемник на пяти транзисторах[2].

---

[1] А. Григорович, «Радио», 1966, № 11, стр. 42.
[2] Б. Архипов, «Малогабаритный 2-V-2», «Радио», 1970, № 2.

Чувствительность приемника не ниже 10 *мв/м*, номинальная выходная мощность около 5 *мвт*. Питание приемника осуществляется от одного дискового аккумулятора Д-0,06. Средний ток, потребляемый

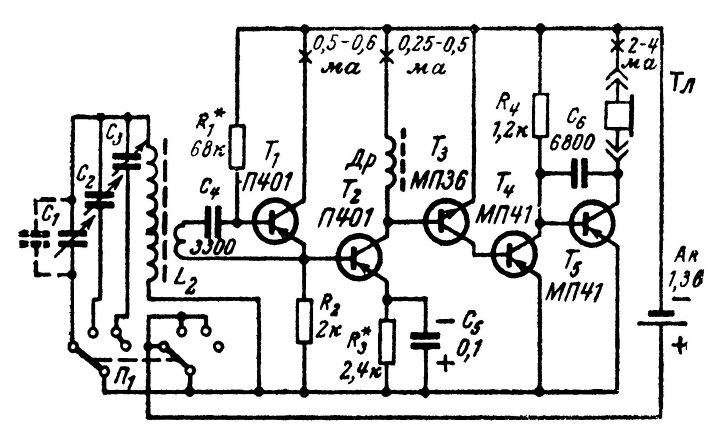


Рис. 46. Принципиальная схема приемника с фиксированными настройками.

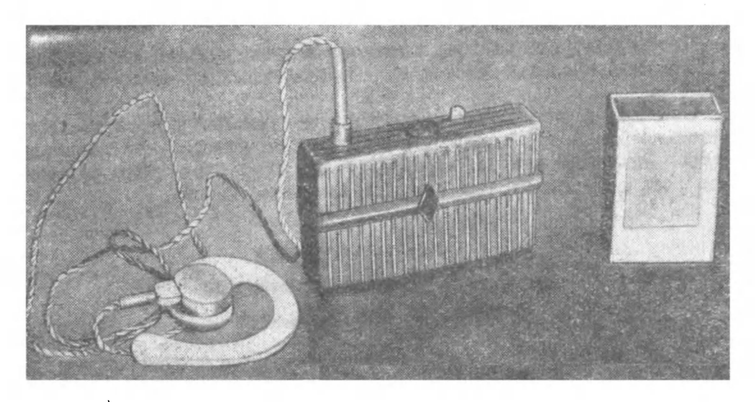


Рис. 47. Общий вид приемника с фиксированными настройками.

приемником от аккумулятора, около 5 *ма*. Продолжительность непрерывной работы от свежезаряженного аккумулятора около 10 *ч*.

Приемник может быть собран в пластмассовой сигаретнице с внутренними размерами 80×46×15 *мм*. Переключение станций и выключение приемника производятся одним рычажным переключателем, контакты которого выполнены методом печатной схемы. Внешний вид приемника показан на рис. 47, а конструкция — на рис. 48.

Порядок изготовления приемника следующий: сначала изготовляем все металлические детали, чертежи которых приведены на рис. 49, после чего приступаем к изготовлению основной детали — печатной платы. Вырезав рисунок печатной платы (шаблон), который напечатан на третьей странице обложки, наклеиваем его резиновым

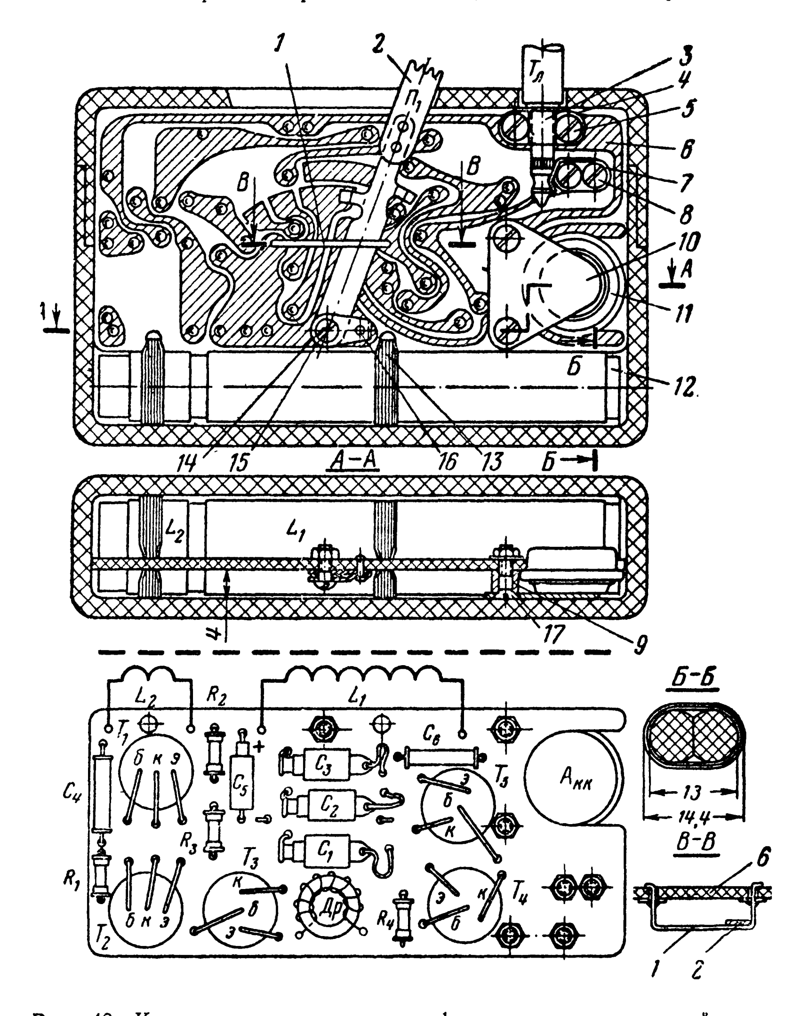


Рис. 48. Конструкция приемника с фиксированными настройками.

1 — скоба; *2* — переключатель; *3* — скоба телефона; *4* — подкладка; *5* — винт М2; *6* — печатная плата; *7* — контакт телефона; *8* — заклепка; *9* — втулки; *10* — контакт аккумулятора; *11* — аккумулятор Д-0,06; *12* — ферритовая антенна; *13* — бандажи из ниток, крепящие ферритовую антенну к печатной плате; *14* — ось переключателя (винт М2); *15* — контактная скоба; *16* — заклепка; *17* — винт М2.

клеем на фольгированный гетинакс толщиной 1,5 *мм* со стороны фольги. Затем остро заточенным керном через бумагу набиваем центры всех будущих отверстий. Кроме того, керном отмечаем углы контура заготовки, центр радиуса полукруглого выреза для аккумулятора, а также отмечаем четырьмя слабыми кернениями углы всех контактных площадок переключателя. Сняв бумажный шаблон, промываем заготовку бензином, чтобы удалить резиновый клей, а дальше рисуем схему и обрабатываем плату, как указано на стр. 41.

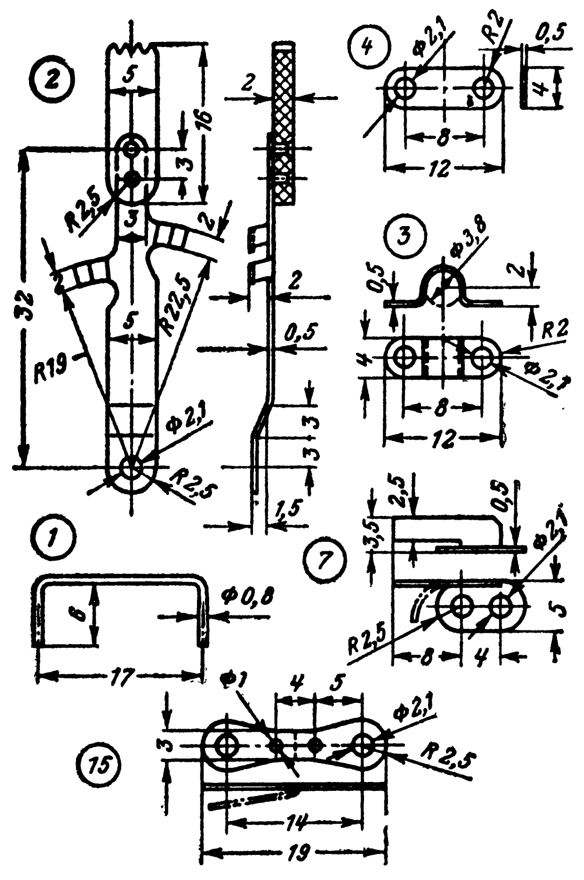


Рис. 49. Детали приемника с фиксированными настройками. Нумерация деталей соответствует нумерации на рис. 48. Материал деталей — латунь.

После обрезки печатной платы по наружному контуру делается лобзиком вырез для аккумулятора и сверлятся монтажные и крепежные отверстия.

Сердечник ферритовой антенны составлен из двух сердечников диаметром 8 *мм* из феррита 600НН. По длине сердечники обрезаются до размера 78 *мм*. У каждого из двух сердечников на наждачном круге снимается по всей длине лыска на глубину 1,25 *мм*, после чего оба сердечника по этим плоскостям склеиваются клеем БФ-2. Сердечники обертываются одним слоем бумаги, и на них наматывают 120 витков литцендрата ЛЭШО-0,07×7. Рядом с обмоткой на сердечник наматывают два-три витка бумажной ленты шириной 12 *мм*, конец которой заклеивается. На полученную бумажную гильзу наматывается 20 витков провода ПЭШО-0,15 и делаются отводы от 10-го и 15-го витков. Эти катушки должны легко перемещаться вдоль сердечника.

К нижней части печатной платы (рис. 48) приклепывается медной заклепкой из провода диаметром 1 *мм* пружинная скоба, между щечками которой вкладывается шарнирная часть переключателя и соединяется с платой винтиком. Для ограничения хода переключателя служит проволочная скоба, вставленная в отверстия в монтажной плате со стороны монтажа, концы ее загибаются с обратной стороны, а с лицевой припаиваются к печатным проводникам.

Аккумулятор, питающий приемник, устанавливается в вырез в печатной плате, по краю выреза расположен печатный проводник, на который ложится борт корпуса аккумулятора, являющийся его положительным полюсом. Напряжение с отрицательного полюса аккумулятора снимается пружиной, которая одновременно прижимает аккумулятор к вырезу в плате. Пружина прикреплена к печатной плате с помощью винтов и втулок. Для предохранения от коррозии необходимо пружину и печатный проводник, контактирующий с положительным полюсом аккумулятора, облудить оловом.

Для подключения штекера телефона служат детали *3*, *4* и *7*, которые крепятся к печатной плате с помощью винтов или заклепок.

Ферритовая антенна прикрепляется снизу к печатной плате с помощью ниток.

Налаживание. Прежде чем приступить к монтажу радиодеталей на печатной плате, следует проверить, работает ли схема и все входящие в нее детали. Сделать это можно, собрав макет на панели.

Сняв с ферритовых стержней катушку связи L_2, проверяют режимы работы транзисторов по постоянному току. Коллекторные токи транзисторов устанавливают подбором резисторов R_1, R_3, R_4. Затем в вечернее время (когда работают радиостанции) надевают на ферритовые стержни катушку связи, а к катушке L_1 подключают переменный конденсатор со шкалой, показывающей емкость его. Подбором числа витков катушки связи, а также смещением катушки по ферритовому стержню добиваются устойчивой работы приемника во всем диапазоне. Далее записывают положения указателя на шкале конденсатора, т. е. емкость его при настройке на станции, которые мы хотим зафиксировать. Зная емкость, подбираем ее из двух конденсаторов — полупеременного (см. ниже) и постоянного. Емкость полупеременного конденсатора изменяется от 30 до 170 *пф*. Таким образом, при его установке в среднее положение емкость будет 100 *пф*, к этой величине добавляется емкость постоянного конденсатора типа КД-1 до нужной величины. Точная настройка производится полупеременным конденсатором.

Полупеременный конденсатор (рис. 50) переделываем из постоянного конденсатора типа КТ-1 емкостью 3 300 *пф*. Соскоблив полоску лака с поверхности конденсатора (рис. 50, *а*), определяем, какой

вывод соединен с внешней обкладкой, и отпаиваем его, после чего наждачной шкуркой счищаем наружную обкладку — металлизацию (рис. 50, *б*). Из тонкой фольги (не толще 0,05 *мм*) вырезаем и сгибаем трубочкой подвижную обкладку конденсатора (рис. 50, *в*). На обкладку насаживаем отрезок резиновой трубки *1*, которая будет прижимать обкладку к корпусу конденсатора. К обкладке припаиваем гибкий провод.

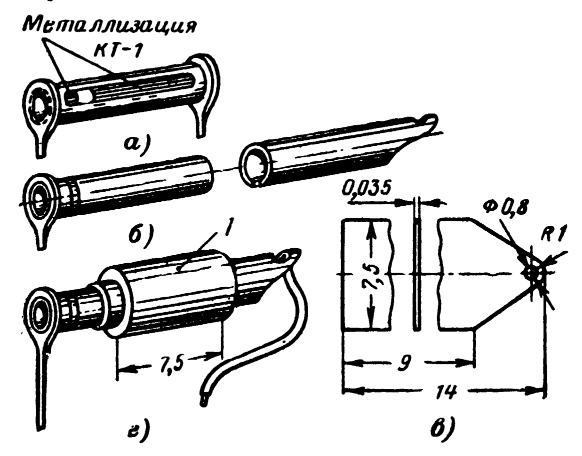


Рис. 50. Полупеременный конденсатор.

а — определение расположения выводов конденсатора КТ-1; *б* — конденсатор со счищенной верхней обкладкой; *в* — подвижная обкладка конденсатора; *г* — общий вид конденсатора.

При самовозбуждении приемника следует поменять местами выводы катушки L_2 или заэкранировать дроссель $Др_1$, обернув его сначала тонкой бумагой, а затем медной фольгой, которую необходимо «заземлить».

Двухдиапазонный миниатюрный приемник

Описанный выше трехпрограммный приемник привязан к определенному географическому месту и при переезде в другое требует довольно хлопотной перестройки. Двухдиапазонный приемник позволяет в любом месте СССР принимать местные станции, работающие в средневолновом или длинноволновом диапазоне. Особенностью приемника по сравнению с предыдущим является переменный конденсатор, выполненный методом печатной схемы.

Принципиальная схема приемника [1] приведена на рис. 51. Каскады усилителя ВЧ выполнены по схеме с заземленным эмиттером без применения переходных трансформаторов в коллекторных цепях, что

[1] В. Морозов, «Приемник с усилителем ВЧ на сопротивлениях», «Радио», 1960, № 5.

снижает неравномерность усиления по диапазонам и уменьшает вероятность самовозбуждения приемника. Для каскадов усилителя ВЧ пригодны триоды П401 (П402, П403) с усилением по току β не выше 35. Для усилителя НЧ пригодны триоды П13А или другие низкочастотные с $\beta = 60 \div 70$.

Приемник собран на печатной плате, конструкция его приведена на рис. 52. Методом печатной схемы выполнены переключатель и конденсатор переменной емкости. Чертеж печатной платы приведен на третьей странице обложки.

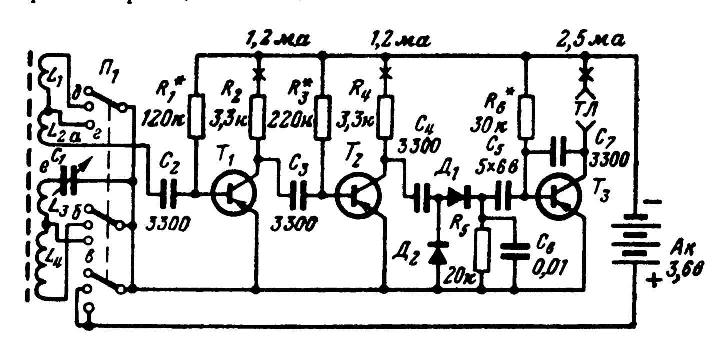


Рис. 51. Схема двухдиапазонного приемника.

Для конденсатора переменной емкости использован ротор подстроечного конденсатора типа КПК-2 25—150 *пф*. Следует проверить несколько конденсаторов и использовать тот, у которого будет наибольшая максимальная емкость и небольшая начальная. На ротор плотно надевается на клее БФ-2 ободок из изоляционного материала (текстолит, гетинакс, оргстекло и т. п.). На наружной части ободка надо трехгранным надфилем нарезать зубчики. Ось ротора прикреплена к печатной плате винтом. На оси вращается втулка, запрессованная в плоскую пружину, которая прижимает ротор к печатной плате. К пружине припаивается ленточный вывод, соединенный с металлизированной обкладкой ротора. Для хорошей работы конденсатора необходимо плотное прилегание статора к печатной обкладке на плате, для этого пластины нужно притереть друг к другу. Делают это так: вырезают из мелкой наждачной шкурки шайбы с наружным диаметром 34 и внутренним 3 *мм*. С одной стороны при вырезании шайбы оставляют небольшой язык, за который можно будет вращать ее. Шайбу кладут абразивной стороной к плате между ротором и печатной платой и собирают конденсатор. Поворачивая статор вместе с шайбой, шлифуют печатную пластину на плате. Так делают несколько раз, меняя шайбу из шкурки. Сначала шлифуют выступающие части в нескольких местах, а затем почти всю поверхность пластины. Если не удается притереть поверхность печатной пластины из-за неправильной формы статора, то следует, повернув шайбу, притереть ротор. После притирки следует плату и ротор хорошо промыть спиртом для того, чтобы удалить частицы абразива.

Переключатель состоит из пружинной части *18* с тремя ползунками, которая вращается вокруг оси *5*, прикрепленной к печатной

плате винтом *17*. На ось *5* надет гетинаксовый рычажок *6*, скрепленный с деталью *18* медной заклепкой *4* диаметром 1 *мм* так, что, поворачивая рычажок *6*, мы будем вращать деталь *18*.

Ферритовая антенна *15* намотана на сердечнике с эллиптическим сечением 8×6 *мм*. Такое сечение получаем путем обработки на наждачном круге ферритового сердечника (феррит 600НН) диаметром 8 *мм*. На сердечник наматываем обмотки согласно чертежу на рис. 53.

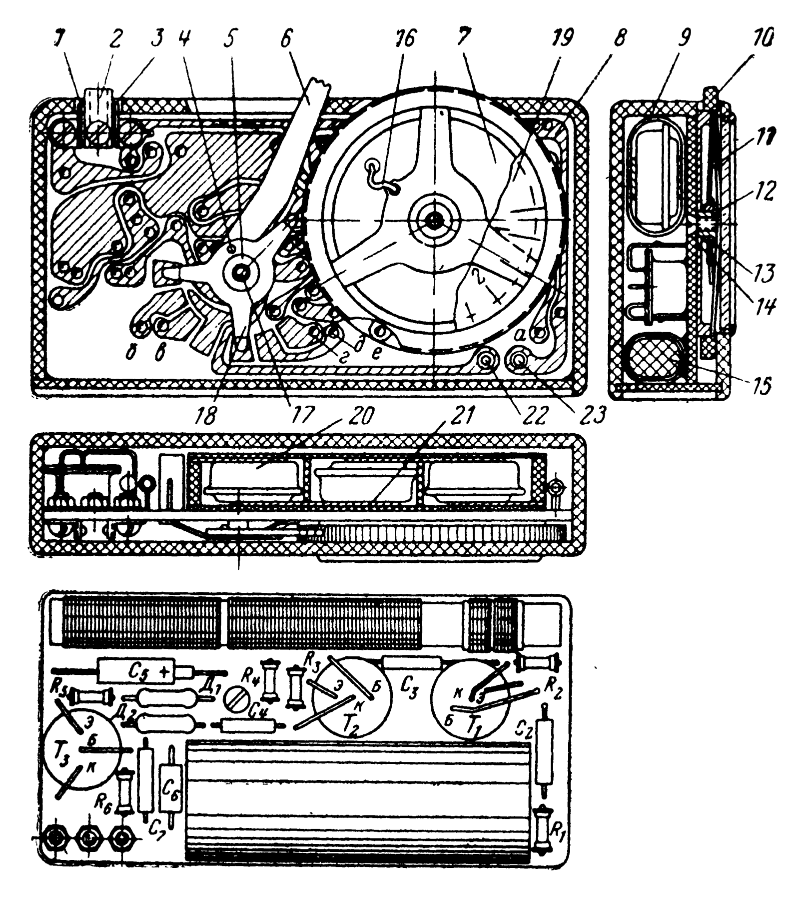


Рис. 52. Конструкция приемника.

1 — левый контакт телефона; *2* — колодка; *3* — правый контакт телефона; *4* — заклепка; *5* — втулка-ось; *6* — рычаг; *7* — ротор КПК; *8* — печатная плата; *9* — гильза бумажная для помещения аккумуляторов; *10* — обод конденсатора; *11* — пружина; *12* — ось; *13* — втулка; *14* — винт М2 с потайной головкой; *15* — ферритовая антенна; *16* — пайка; *17* — винт М2 с потайной головкой; *18* — переключатель; *19* — шкала; *20* — аккумуляторы Д-0,06; *21* — контактные пластины, соединяющие аккумуляторы; *22* — штырь (тонкий) для подключения зарядного устройства; *23* — штырь (толстый).

Питание приемника осуществляется тремя дисковыми аккумуляторами *20* типа Д-0,06. Аккумуляторы помещены в картонную гильзу *9*, к стенкам которой прикреплены контактные пластинки *21*, соединяющие аккумуляторы последовательно (рис. 52). Гильза приклеена к печатной плате клеем БФ-2.

Чертежи деталей приемника приведены на рис. 54, нумерация деталей соответствует нумерации на рис. 52.

Приемник собран в футляре, склеенном из цветного органического стекла (рис. 55). Приемник вставляется в футляр снизу, органы управления (ручка переключателя, диск переменного конденсатора и гнезда для включения телефона) проходят через вырезы в верхней части футляра. Снизу футляр закрывается вдвижной крышкой. На передней стенке футляра имеется круглое окно, в которое вставлен диск из оргстекла с двумя рисками, через окно видна шкала, укрепленная на роторе переменного конденсатора. Окно обрамлено тонким металлическим ободком.

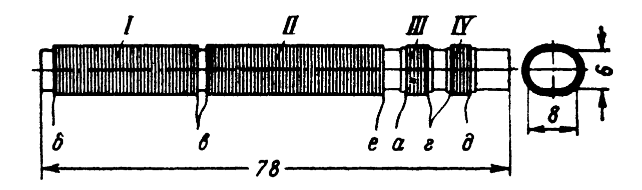


Рис. 53. Ферритовая антенна приемника.

I — 200 витков провода ПЭЛ диаметром 0,1 *мм*; *II* — 90 витков литцендрата ЛЭТО 0,07×7; *III* — 15 витков ПЭЛШО 0,12; *IV* — 15 витков ПЭЛШО 0,12.

На рис. 56 приведен внешний вид приемника.

Налаживание приемника следует произвести на макете, собранном на экспериментальной плате. Сначала, сняв с ферритовой антенны катушки связи, устанавливаем режим работы транзисторов подбором резисторов R_1, R_3, R_5. Затем, установив на место катушки связи, подключаем переменный конденсатор приемника к катушке L_1 или L_2 и подбираем количество витков катушки связи и ее положение относительно катушек L_1 и L_2. Наладив макет, монтируем все детали на печатную плату. Смонтированный приемник не должен требовать дополнительной наладки, если при монтаже были соблюдены все правила и, самое главное, если детали не перегревались при пайке.

Зарядное устройство

Аккумуляторы можно заряжать, не вынимая их из приемника. Для подключения зарядного устройства служат два штекера, установленные на печатной плате под шкалой приемника. Против штекеров в корпусе сделаны два отверстия.

Зарядное устройство собирают по схеме на рис. 56, емкость конденсатора *C* должна быть 0,25 *мкф* для электросети 127 *в* и 0,12 *мкф* для 220 *в*. Для подключения зарядного устройства к приемнику служит самодельная колодка с двумя гнездами (рис. 57). Гнезда *1* и *2*

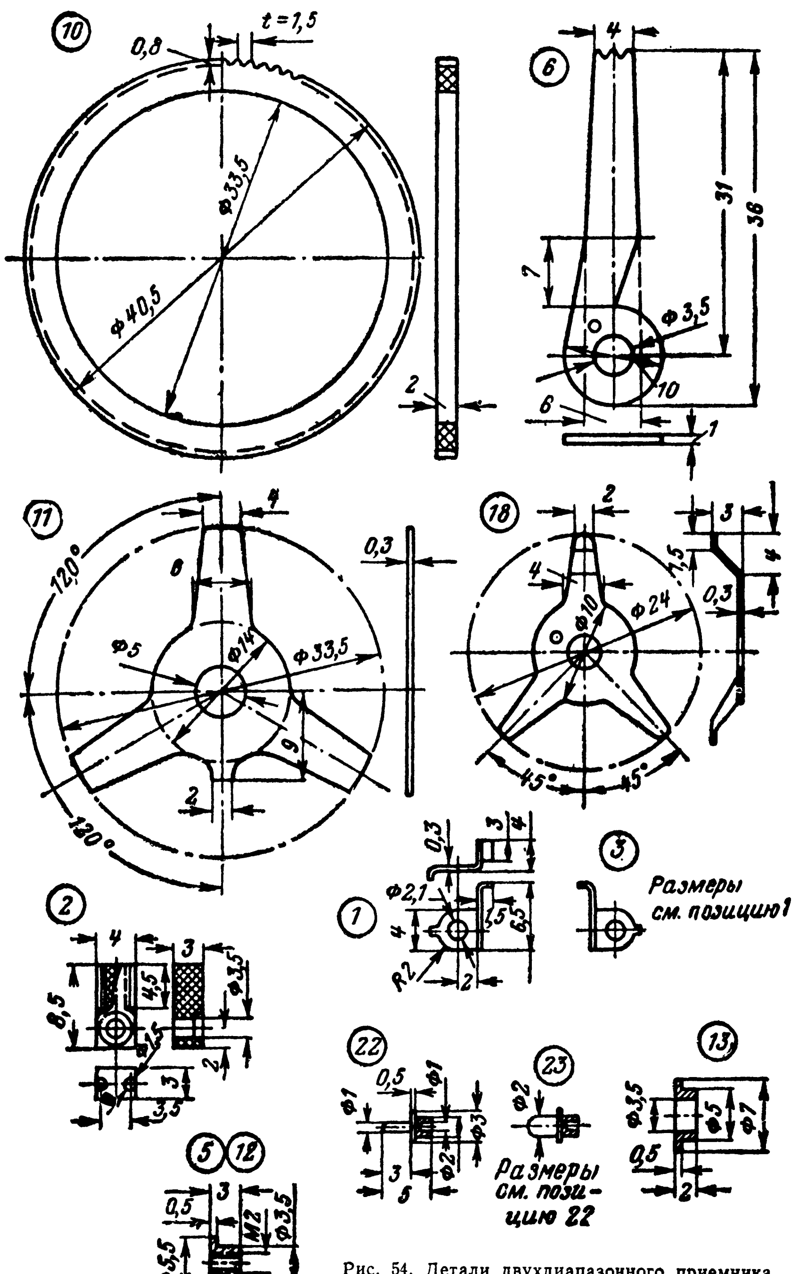


Рис. 54. Детали двухдиапазонного приемника. Нумерация деталей соответствует рис. 48. Материал деталей *2, 6* и *10* — гетинакс; деталей *5, 12, 13, 22* и *23* — латунь; деталей *1, 3, 11* и *18* — фосфористая бронза или латунь.

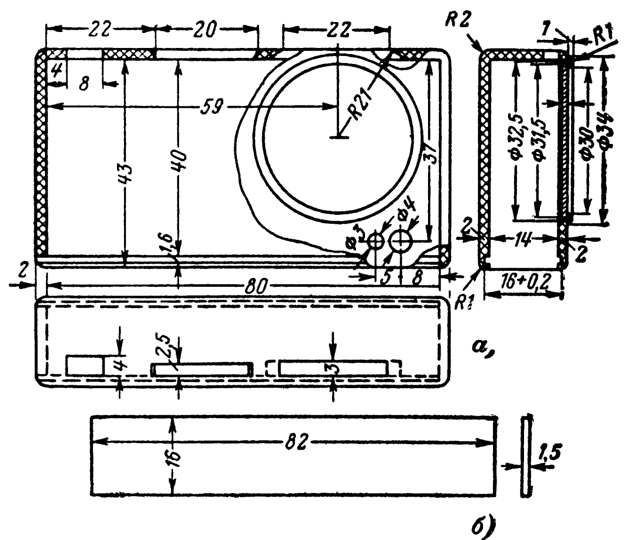


Рис. 55. Футляр приемника.

а — футляр; *б* — дно.

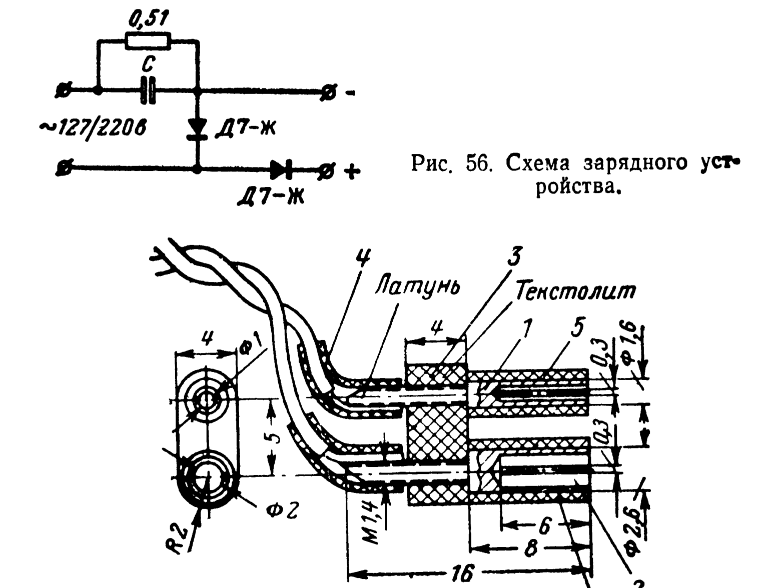


Рис. 56. Схема зарядного устройства.

Рис. 57. Колодка для подключения зарядного устройства.

ввертываются хвостовой частью в колодку *3*. Сзади к хвостовикам гнезд припаивают два монтажных провода, свитые в шнур На хвостовики надеваются хлорвиниловые трубки *4*. Такие же трубки (*5* и *6*) разных диаметров надеваются на гнезда *1* и *2*.

Выпрямительная часть зарядного устройства монтируется в пластмассовой или металлической коробке, скрепленной со штепсельной вилкой, с помощью которой зарядное устройство подключается к сети.

Выпрямительный мост

В последнее время во всех радиоустройствах вместо кенотронов применяют выпрямительные диоды, включенные по мостовой схеме. Несмотря на то что выпрямители эти достаточно надежны, не исключена возможность выхода их из строя, поэтому целесообразно мост

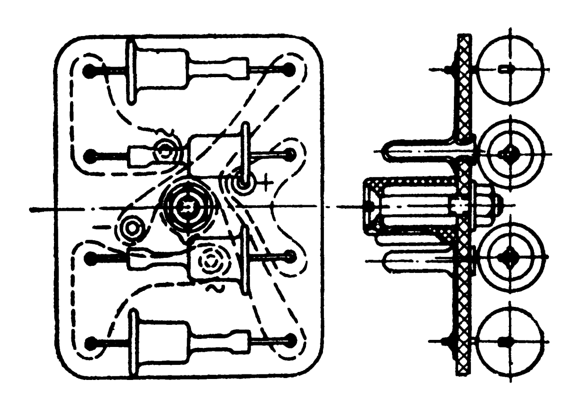
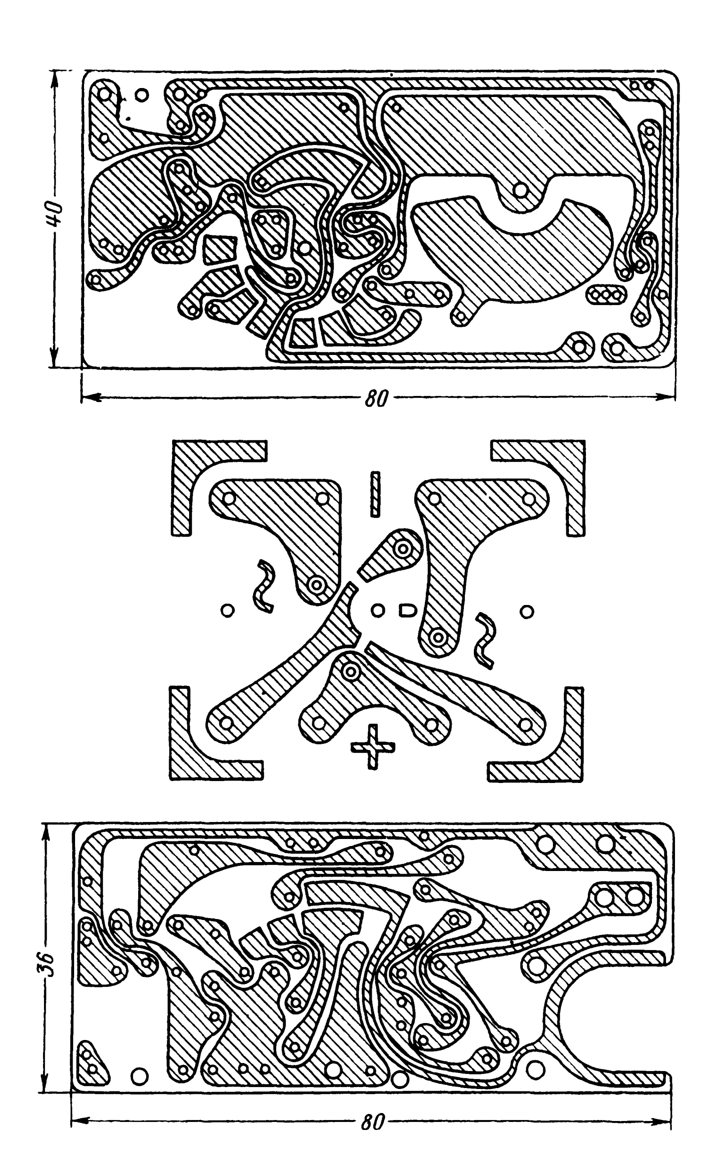


Рис. 58. Общий вид выпрямительного моста.

делать легкосъемным. В этом случае при выходе из строя диодов достаточно сменить мост на запасной.

Конструкция на рис. 58 представляет собой печатную плату со смонтированными на ней с одной стороны диодами, а с противоположной — ножками и ключом от цоколя октальной панельки. Установка ножек от цоколя описана на стр. 29. Печатная плата может быть изготовлена любым из описанных выше способов.

Для облегчения изготовления такого моста на третьей странице обложки дан чертеж трафарета для нанесения рисунка печатного монтажа распылением краски при выполнении печатной платы химическим способом.


40
80
36
80

Цена 18 коп.